VI CONNEPI

CONGRESSO NORTE E NORDESTE
DE PESQUISA E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

NATAL, RIO GRANDE DO NORTE 16 A 18 DE DEZEMBRO DE 2011

ANAIS

ENGENHARIA III

Presidente da República
Dilma Viana Rousseff

Ministro da Educação
Fernando Haddad

Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Eliezer Moreira Pacheco

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Rio Grande do Norte

Reitor
Belchior de Oliveira Rocha

Pró-Reitor de Pesquisa e Inovação
José Yvan Pereira Leite

Pró-Reitor de Administração
Jucelino Cardoso de Medeiros

Pró-Reitor de Planejamento e Desenvolvimento Institucional
Francisco das Chagas de Mariz Fernandes

Pró-Reitora de Ensino
Anna Catharina da Costa Dantas

Pró-Reitor de Extensão
Wyllys Abel Farkatt Tabosa

Diretoria de Gestão e Atividades Estudantis
Solange da Costa Fernandes

Diretoria de Gestão e Tecnologia da Informação
Alex Fabiano de Araujo Furtunato

Diretoria de Gestão Pessoas
Auridan Dantas de Araújo

Reitora: Cláudia Sansil / IFPE
Pró-Reitora de Pesquisa e Inovação: Ana Patrícia Falcão / IFPE

Reitor: João Batista de Oliveira Silva / IFPB
Pró-Reitora de Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação: Nelma Mirian Chagas de Araújo Meira / IFPB

Reitor: José Ferreira Costa / IFMA
Pró-Reitor de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação Tecnológica: José Hilton Gomes Rangel / IFMA

Reitor: Cláudio Ricardo Gomes de Lima / IFCE
Pró-Reitora de Pesquisa e Inovação: Glória Maria Marinho Silva / IFCE

Reitor: Ailton Ribeiro Oliveira IFSE
Pró-Reitora de Pesquisa e Extensão: Ruth Sales Gama de Andrade / IFSE

Reitor: Francisco das Chagas Santana / IFPI
Pró-Reitora de Pesquisa e Inovação: Valdira de Caldas Brito Vieira / IFPI

Reitora: Aurina Oliveira Santana / IFBA
Pró-Reitora de Pós-Graduação, Pesquisa e Inovação: Rita Maria Weste Nano / IFBA

Reitor: Edson Ary Oliveira Fontes / IFPA
Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação: Otávio Fernandes Lima da Rocha / IFPA

Reitor: Edvaldo Pereira da Silva / IFRR
Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação e Inovação Tecnológica: Daygles Maria Ferreira de Souza / IFRR

Reitor: Francisco Nairton do Nascimento / IFTO
Pró-Reitor de Pesquisa e Inovação: Augusto Cesar dos Santos / IFTO

Reitor: João Martins Dias / IFAM
Pró-Reitora de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação: Ana Mena Barreto Bastos / IFAM

Reitor: Sergio Teixeira Costa / IFAL
Pró-Reitor de Pesquisa e Inovação: Carlos Henrique Almeida Alves / IFAL

Reitor: Marcelo Minghelli / IFAC
Pró-Reitor de Inovação: Luís Pedro de Melo Plese / IFAC

Reitor: Sebastião Edson Moura / IFBAIANO
Pró-Reitor de Pesquisa: Vandemberg Salvador de Oliveira / IFBAIANO

Reitor: Raimundo Vicente Jimenez / IFRO
Pró-Reitor de Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação: Artur de Souza Moret / IFRO

Reitor: Sebastião Rildo Fernandes Diniz / IFSERTÃO PERNABUCANO
Pró-Reitor de Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação: Cícero Antônio de Souza Araújo / IFSERTÃO PERNABUCANO

Comissão Organizadora

José Yvan Pereira Leite
Jerônimo Pereira Souza Santos
André Luiz Calado Araújo
Samir Cristino Souza

O conteúdo dos artigos publicados é de inteira responsabilidade de seus autores.

VI Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica – CONNEPI - 2011

Copyright 2011 da Editora do IFRN

Todos os direitos reservados

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora do IFRN.

Divisão de serviços Técnicos

Catalogação da publicação na fonte.

Biblioteca Sebastião Fernandes (BSF) – IFRN

Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica – CONNEPI (VI.: Natal: 2011:Rio Grande do Norte. RN)/ José Yvan Pereira Leite...[et al.] Natal: SETEC/MEC, 2011.
14.217p.

ISBN 978-85-8161-016-0

1. Artes Letras e Linguísticas. 2. Ciências Agrárias. 3. Ciências Biológicas. 4. Ciências da Saúde. 5. Ciências Exatas da Terra. 6. Ciências Humanas. 7. Ciências Sociais Aplicadas. 8. Engenharias. I. Araújo, André Luis Calado. II. Santos, Jerônimo Pereira. III. Souza. Samir Cristino. IV. Leite, José Yvan Pereira

CDD – 370.1

IFRN/BSF

Apresentação

O VI Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação da Rede Federal de Educação Tecnológica (CONNEPI) ocorreu em Natal-RN, entre 16 e 18 de dezembro de 2011, no Campus Natal-Central do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN). Integrado ao evento, houve ainda o VII Congresso de Iniciação Científica do IFRN (CONGIC) e a EXPOTEC, movimentando, no total, um público estimado em torno de 6 mil pessoas.

Assim, o VI CONNEPI assinala uma nova fase da ampliação e consolidação da Pesquisa e Inovação no âmbito dos Institutos Federais, demarcado pela apresentação de 1.799 artigos científicos e a realização de mostra tecnológica, quatro plenárias, 12 minicursos, além de reuniões de articulações para formação de redes, discussão de políticas de planejamento científico, organização de arranjos institucionais dos NITs da Rede Federal, entre outras atividades.

Com relação aos trabalhos científicos, estes foram apresentados por pesquisadores e estudantes bolsistas advindos dos programas institucionais de pesquisa dos Institutos Federais do Norte-Nordeste, dos Programas do CNPq (PIBITI, PIBIC, PIBIC-Af, PIBIC-EM, entre outras), CAPES (PIBID, PET), Petrobrás (PFRH) e Fundações de apoio. No quadro a seguir, pode-se observar a distribuição dos trabalhos por área temática, contemplando os vários ramos do conhecimento, com destaque para as áreas tecnológicas, que representam 64,2% das contribuições recebidas.

Areas Temáticas	Quantidade	(%)
Artes, Letras e Linguística	73	4,1
Ciências Agrárias	274	15,2
Ciências Biológicas	163	9,1
Ciências da Saúde	85	4,7
Ciências Exatas e da Terra	363	20,2
Ciências Humanas	310	17,2
Ciências Sociais Aplicadas	176	9,8
Engenharia I	135	7,5
Engenharia II	64	3,6
Engenharia III	38	2,1
Engenharia IV	118	6,6
Total	1799	100

Já a mostra foi abrilhantada por 16 expositores, dentre os quais a Editora do IFRN, FUNCERN, Campi do IFs Rio Grande do Norte, Tocantins e Sertão Pernambucano, FAPERN, ProQuest, Shimadsu, Agilent, Projeto Caatinga Viva, Projeto Cultura e Projeto PETROTEC.

As plenárias, por sua vez, forneceram o espaço para discussões a respeito dos arranjos produtivos locais, das relações da Anprotec com a Rede Federal, da expansão do ensino profissional, das mudanças climáticas e da biomassa como fonte alternativa de energia.

Na oportunidade, aconteceu, ainda, o lançamento do repositório de livros do IFRN, de livros das Editoras do IFRN e do IF Sertão Pernambucano.

Em vista dos resultados alcançados, não poderíamos deixar de manifestar nossos agradecimentos a todos que contribuíram para o êxito do evento. Assim, a Comissão Organizadora do VI CONNEPI agradece às equipes de Tecnologia da Informação do IF de Sergipe, das Pró-Reitorias de Administração, de Ensino, de Extensão e de Pesquisa e Inovação do IFRN, bem como aos 400 avaliadores ad hoc que, de forma silenciosa, garantiram a qualidade dos trabalhos apresentados.

Agradece também às Reitorias dos Instituto Federais do Rio Grande do Norte e de Sergipe e à Secretaria de Educação Profissional Tecnológica pela confiança e pelo apoio político e financeiro, bem como à FUNCERN e aos gestores de Pesquisa e Inovação dos Institutos Federais do Norte-Nordeste, sem os quais não seria possível a realização desse grande evento.

Uma significativa parte de toda esse esforço interinstitucional, especificamente os 1.799 trabalhos científicos, é agora disponibilizada sob a forma destes Anais do VI CONNEPI, na expectativa de colaborar para a difusão do conhecimento nos ambientes acadêmicos e, por conseguinte, para o desenvolvimento da pesquisa e inovação na Rede.

Prof. José Yvan Pereira Leite
Comissão Organizadora – VI CONNEPI

Engenharia de Produção

BENEFÍCIOS DA GINÁSTICA LABORAL PARA TRABALHADORES: UM ESTUDO DE CASO NUMA EMPRESA CALÇADISTA EM SANTA RITA/PB

COSTA, R. P.[1]; ARAÚJO, N. M. C.[2] e ARARUNA, R. F. [3]
[1,2,3]Universidade Federal da Paraíba - Campus João Pessoa- PB.
renata_paiva@uol.com.br– nelma@ifpb.edu.br – raquel.araruna@hotmail.com

RESUMO

Os "Tempos Modernos" exigem das organizações novos pensamentos e posturas. Para se tornarem competitivas, aumentarem a produção, sobreviverem e estarem inseridas no mercado, as empresas precisam assumir sua parcela de responsabilidade social, adotando medidas que se preocupem também com a qualidade de vida, zelando pela saúde e beneficiando o seu maior patrimônio, os seus trabalhadores. Nesse contexto, o objetivo principal deste trabalho foi identificar os benefícios trazidos à saúde e qualidade de vida, na visão dos trabalhadores praticantes, acerca de um programa de Ginástica Laboral, realizado em uma empresa do ramo calçadista, em Santa Rita/PB. A pesquisa baseou-se na aplicação de um questionário junto aos operários de uma célula do setor de montagem. Os resultados apontam que o programa, realizado há dois anos durante o horário de trabalho, vem proporcionando melhorias significativas à qualidade de vida dos trabalhadores, melhorando o seu desempenho no trabalho, e também mudando alguns aspectos do estilo de vida. Concluindo, verifica-se que o investimento em programas de qualidade de vida oferece benefícios tanto para o funcionário como para a empresa, pois além de contribuir para a minimização dos impactos negativos à saúde adquiridos no ambiente de trabalho, podem aumentar a motivação dos trabalhadores, repercutindo em aumento na produtividade.

Palavras-chave: ginástica Laboral, qualidade de vida, saúde ocupacional

1. INTRODUÇÃO

Os "Tempos Modernos" impuseram uma nova rotina aos operários, fazendo com que o homem tenha que trabalhar intensivamente sobre máquinas de forma estressante e sedentária, passando várias horas em uma mesma posição e repetindo os mesmos movimentos diversas vezes por dia. As condições gerais de vida, assim como as condições e formas de trabalho, contribuem para tornar muitos trabalhadores incapacitados ou inabilitados de responder às exigências das tarefas que lhes são propostas (COSTA, 2008).

Dessa forma, a busca pela qualidade total, o processo de globalização e a competitividade têm "exigido" das organizações novos pensamentos e posturas. Assim, para se tornarem competitivas, aumentarem a produção, sobreviverem e estarem inseridas no mercado, as empresas precisam assumir sua parcela de responsabilidade social adotando medidas que se preocupem também com a qualidade de vida no trabalho, zelando pela saúde e beneficiando o seu maior patrimônio, os seus trabalhadores. Este pensamento fez surgir, nas empresas, a necessidade da implantação de vários programas de QVT (Qualidade de Vida Total), como forma de favorecer o bem-estar e crescimento organizacional, tanto no aspecto tecnológico como humano. Dentre os principais objetivos que se buscam para implantação destes programas, destacam-se: o combate ao sedentarismo e estresse ocupacional; a prevenção de acidentes de trabalho, incluindo-se nestes as doenças ocupacionais, a hipertensão arterial, o tabagismo, o alcoolismo, as dores musculares, entre outros.

A preocupação com o impacto negativo do trabalho sobre a saúde é um tema que vem adquirindo importância à medida que se tornam mais evidentes que os trabalhadores estão sujeitos a desenvolver problemas físicos e psicológicos em função de suas atividades. Essa é a rotina de muitos trabalhadores: no mínimo oito horas diárias de trabalho, muito tempo sentado, ou em pé, uma rotina que acarreta problemas decorrentes da má postura e do trabalho repetitivo, como dores de coluna, lesões e tendinite (inflamação do tendão), entre outros. Para prevenir tais doenças muitas empresas investem em programas de atividades físicas para os seus empregados, reconhecendo a importância de manter um corpo saudável. Uma técnica que cresce dia-a-dia é a Ginástica Laboral, que é uma prática de exercícios específicos no próprio emprego.

Segundo a Folha de São Paulo (2006) *apud* Costa (2008), a Ginástica Laboral (GL) atua de forma preventiva e terapêutica, devido à carga psicossomática dos multifatores do cotidiano, amenizando o estresse no organismo, aumentando sua resistência imunológica e diminuindo a suscetibilidade ao surgimento das LERs / DORTs (doenças ocupacionais).

Implantada no setor de produção das empresas, dentro de um contexto ergonômico, a Ginástica Laboral vem agregando valores no diferencial competitivo, na perseguição constante de melhoria na qualidade de vida no trabalho e assim resultando em aproveitamento produtivo do colaborador (RODRIGUES *et al.*, 2005).

Sendo assim, verifica-se que a GL vem sendo implantada, nas empresas, como forma de prevenir doenças ocupacionais, sedentarismo, estresse e outros; é isso que se procura passar ao trabalhador e, dessa forma, a GL pode ser considerada como um instrumento auxiliar de uma atitude preventiva global ou, em outros casos, como uma forma dos empresários subvalorizarem ou até mesmo desconsiderarem outras medidas essenciais à proteção da saúde do trabalhador. Nesse sentido, este artigo tem por objetivo identificar os benefícios que a GL trouxe aos trabalhadores do setor de montagem da empresa calçadista, a partir da opinião deles próprios.

2. DOENÇAS OCUPACIONAIS

As doenças ocupacionais são agravos à saúde do trabalhador, sendo os distúrbios osteomusculares, de acordo com Brandão *et al.* (2005), os mais frequentes problemas de saúde relacionados ao trabalho em todos os países, independentemente do seu grau de industrialização. Ademais, essas lesões geram desequilíbrios psicossociais para os trabalhadores em razão da perda na qualidade de vida dos portadores dessas doenças, provocando prejuízo na progressão profissional, bem como medo do desemprego.

O desenvolvimento dos DORTs é multicausal, segundo David (2005), sendo dessa forma de suma importância analisar os fatores de risco envolvidos direta ou indiretamente. Os fatores de risco, de maneira geral, são os fatores do trabalho relacionados com as patologias, onde a identificação destes deve integrar as diversas informações. No plano conceitual, "os mecanismos de lesão dos casos de LER são considerados um acúmulo de influências que ultrapassam a capacidade de adaptação de um tecido, mesmo se o funcionamento fisiológico deste é mantido parcialmente" (BRASIL, 2001).

Diante do aumento da frequência de DORT, estudiosos têm tentado explicar sua gênese por meio de várias teorias. A primeira delas refere-se a fatores biomecânicos presentes na atividade, onde o surgimento de problemas músculo-esqueléticos ocupacionais seriam devido às reações adversas do organismo em resposta às exigências biomecânicas do trabalho. A segunda se refere aos fatores psicossociais relacionados à organização do trabalho, os quais se relacionam às interações hierárquicas com gerências, ou seja, trabalhadores submetidos a altos níveis de exigências psicológicas no trabalho e com poder de decisão têm um aumento do limiar da dor, enquanto pessoas com pequenas possibilidades de decisão no trabalho apresentam menor limiar (BRASIL, 2001).

Por outra análise, existem os fatores ligados à psicodinâmica do trabalho ou aos desequilíbrios psíquicos, os quais podem ser gerados em certas situações especiais de trabalho, podendo estar relacionados à maneira como o trabalhador organiza suas atividades, além da forma como ele percebe o seu trabalho e qual o significado deste para sua vida (BRASIL, 2001).

Já os fatores traumáticos, relacionam-se, geralmente, ao trabalho físico, onde ocorre a exaustão mecânica das estruturas anatômicas sem o tempo de recuperação, acarretando a lesão. Entre os fatores traumáticos, a OMS (Organização Mundial de Saúde) classifica os mesmos em: risco individual (idade, sexo, relação peso e altura, desequilíbrio muscular, capacidade da força muscular, condições socioeconômicas e a presença de patologias) e risco profissional devido a fatores organizacionais (OMS, 1985).

Os fatores referentes à organização de trabalho, tais como inflexibilidade e alta intensidade, execução de grande quantidade de movimentos repetitivos em alta velocidade, sobrecarga de determinados grupos musculares, posturas estáticas por longos períodos, ausência de controle sobre ritmo de trabalho, ausência de pausas, exigência de produtividade, condições anti-ergonômicas no ambiente de trabalho, são fatores apontados para o aumento de casos de DORT (BRASIL, 2001).

3. ERGONOMIA

Todas as definições de ergonomia procuram ressaltar o caráter interdisciplinar e o objeto de estudo que é a interação entre o homem e o trabalho, no sistema homem-tarefa-ambiente interagindo com as interfaces desse sistema (IIDA, 2005).

Segundo a definição oficial adotada pela IEA - Associação Internacional de Ergonomia: A Ergonomia (ou fatores humanos) é uma disciplina científica relacionada ao entendimento das interações entre os seres humanos e outros elementos ou sistemas e à aplicação de teorias, princípios, dados e métodos a projetos a fim de otimizar o bem estar humano e o desempenho global do sistema (ABERGO, 2011).

A ergonomia objetiva, através de intervenções no sistema de produção, reduzir a fadiga, o estresse, erros e acidentes, proporcionando segurança, satisfação e saúde dos trabalhadores durante o seu relacionamento com o sistema produtivo, acarretando a eficiência como consequência. Iida (2005) afirma que a ergonomia contribui para melhorar a eficiência, a confiabilidade e a qualidade das operações industriais, através do aperfeiçoamento do sistema homem-máquina-ambiente, organização do trabalho e pela melhoria das condições de trabalho.

Programas de Ergonomia em empresas apresentam resultados positivos. Uma série de estudos aponta para um retorno de um a cinco dólares por cada unidade investida em Programas de Ergonomia. Em estudo realizado por Vidal (2000), empresas comprovaram que seus programas de ergonomia renderam benefícios, inclusive na redução dos custos de compensação associados aos trabalhadores lesionados com LER/DORTs, apresentando, inclusive, melhoria em indicadores, como diminuição do índice de lesões e do número de dias perdidos e, em alguns casos, aumento do retorno precoce do trabalhador lesionado, visto que recolocar os empregados para retornar ao trabalho foi considerado como uma meta em todos os programas.

4. GINÁSTICA LABORAL

O mercado altamente competitivo e globalizado exige que as empresas possuam atitudes diferenciadas, a fim de garantirem sua sobrevivência em longo prazo. Isso faz da Ginástica Laboral uma ferramenta útil para cuidar da saúde do trabalhador, prevenindo as doenças ocupacionais (LER/DORT). Além disso, abre ótima oportunidade de trabalho para os profissionais da área de Fisioterapia e Educação Física.

4.1 Breve Histórico

O primeiro vestígio desta idéia vem da Polônia, datado de 1925 com o nome "Ginástica de Pausa", anos depois, surgiu na Holanda e na Rússia. Na década de 60, atingiu outros países da Europa e, principalmente, o Japão, onde ocorreu a consolidação e a obrigatoriedade da GLC - Ginástica Laboral Compensatória. No Brasil, a semente brotou em 1973, na Escola de Educação Feevale, com um projeto de Educação Física Compensatória e Recreação, no qual a escola estabelecia uma proposta de exercícios baseados em análises biomecânicas (MARCHESINI, 2002).

4.2 Definição e Classificação

Ginástica Laboral é a prática voluntária de atividades físicas realizadas pelos trabalhadores coletivamente, dentro do próprio local de trabalho, durante sua jornada diária (SESI, 1996 *apud* COSTA, 2008).

A Revista CIPA, no ano de 1999, apresentou uma matéria sobre “Ginástica Laboral, caminho para uma vida mais saudável no trabalho“, onde, em síntese, observa-se que a finalidade dos Programas de Ginástica Laboral é basicamente a valorização da prática das atividades físicas, como instrumento de promoção de saúde e prevenção de lesões e acidentes, objetivando, ainda, a melhoria da qualidade de vida dos homens que a praticam (CIPA, 1999).

Resumindo essas ideias, percebe-se que a Ginástica Laboral surge como uma nova forma de investimento na qualidade de vida e lazer realizada de maneira espontânea e criativa pelo trabalhador no próprio ambiente e horário de trabalho, buscando a prevenção e a reabilitação dos efeitos maléficos que o trabalho repetitivo e monótono acarreta aos indivíduos.

Segundo Marchesini (2002), há três tipos de ginástica laboral:

Preparatória - Ginástica com duração geralmente de 5 a 10 minutos realizada antes do início da jornada de trabalho. Tem como objetivo principal preparar o funcionário para sua tarefa, aquecendo os grupos musculares que irão ser solicitados nas suas tarefas e despertando-os para que se sintam mais dispostos ao iniciar o trabalho.

Compensatória - Ginástica com duração geralmente de 10 minutos, realizada durante a jornada de trabalho, interrompendo a monotonia operacional e aproveitando pausas para executar exercícios específicos de compensação aos esforços repetitivos e às posturas inadequadas solicitadas nos postos operacionais.

Relaxamento - Ginástica com duração geralmente de 10 minutos, baseada em exercícios de alongamento realizados após o expediente, com o objetivo de oxigenar as estruturas musculares envolvidas na tarefa diária, evitando o acúmulo de ácido láctico e prevenindo as possíveis instalações de lesões.

4.3 Benefícios da Ginástica Laboral

Os programas promovem a saúde mental, física e social do indivíduo. Alguns de seus benefícios, segundo Pagliari (2002), estão listados a seguir:

a) Fisiológicos

- Provoca o aumento da circulação sanguínea em nível da estrutura muscular, melhorando a oxigenação dos músculos e tendões e diminuindo o acúmulo do ácido lático;

- Melhora a mobilidade e flexibilidade músculo articular;

- Diminui as inflamações e traumas;

- Melhora a postura;

- Diminui a tensão muscular desnecessária;

- Diminui o esforço na execução das tarefas diárias;

- Facilita a adaptação ao posto de trabalho;

- Melhora a condição do estado de saúde geral.

b) Psicológicos

- Favorece a mudança da rotina;

- Reforça a auto-estima;

- Mostra a preocupação da empresa com seus funcionários;

- Melhora a capacidade de concentração no trabalho.

c) Sociais

- Desperta o surgimento de novas lideranças;

- Favorece o contato pessoal;

- Promove a integração social;

- Favorece o sentido de grupo - se sentem parte de um todo;

- Melhora o relacionamento.

5. METODOLOGIA

O estudo de caso foi realizado numa fábrica do setor calçadista, situada no município de Santa Rita/PB, em uma das células da empresa, referente à montagem. O tipo de pesquisa foi descritivo e exploratório.

As informações foram coletadas a partir da constituição de uma investigação bibliográfica associada a uma pesquisa de campo. Foi elaborado um questionário com questões objetivas, de múltipla escolha, que teve como finalidade obter informações reais dos benefícios da Ginástica Laboral, na visão de cada funcionário em seus ambientes de trabalho (ver Anexo).

As variáveis investigadas na pesquisa foram:

Quadro 1 – Variáveis investigadas na pesquisa

Variáveis	Indicadores
Característica do trabalhador e do trabalho	Horário e tempo de trabalho; Predominância das tarefas; Influências da GL; Referências ao posto de trabalho.
Características da GL	Tempo de prática e frequência de participação; Percepção da GL.
Mudanças e resultados obtidos com a prática da GL	Motivos de implantação da GL, pela empresa; Melhoras no bem-estar diário; Resultados e mudanças ocorridos (com o funcionário e com a empresa); Sugestões para melhoria.

Fonte: Dados de pesquisa (2010)

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos com as respostas dos trabalhadores praticantes da GL, sendo eles os mais indicados para expor os verdadeiros benefícios do referido programa, como também para sugerir algo que considerem relevante para sua melhoria, são apresentados neste item, dispostos em gráficos e analisados descritivamente à luz da literatura pertinente.

A amostra do estudo foi composta por 20 participantes, dos quais 55% (11 funcionários) são do sexo feminino e o restante, 45% (9 funcionários), são do sexo masculino. No que diz respeito à faixa etária dos entrevistados, 80% apresenta idade entre 17 e 26 anos e 20% entre 27 e 36 anos. Verifica-se que a maioria dos funcionários praticantes da GL está numa idade economicamente ativa e importando-se mais com a saúde e com o bem-estar diário, por estar numa fase da vida em que há um grande risco de adquirir doenças relacionadas ao trabalho. Entretanto, apenas 50% destes realizam atividades físicas.

Quando questionados sobre alguma percepção de mudança positiva relacionada à empresa e se a GL tinha melhorado sua postura corporal na realização de seus trabalhos, todos responderam que sim. Foi

unânime o apreço da GL como parte do lazer, mesmo sendo expediente de trabalho, e ainda acrescentaram que a ginástica laboral “faz bem à saúde”, “temos relaxamento em diversas partes do corpo”, “aumenta a disposição”, “exercita o corpo”, “faz bem ao bem estar”, “relaxa”, “trabalha mais animado”.

A fase mais importante do questionário é discutida nesse momento, pois se refere às respostas acerca da aplicação e resultados obtidos com a prática da GL, em que iremos analisar realmente quais os verdadeiros benefícios elencados pelos funcionários sobre a atividade laboral em estudo.

De início, procuramos saber há quanto tempo os funcionários realizam a prática e identificamos que apenas 5% dos funcionários praticam há cerca de 3 meses, 65% dos funcionários praticam a GL de 4 a 5 meses e 30% praticam entre 7 e 36 meses. Podemos verificar que a amostra supracitada é fiel, por estar realizando a prática por um tempo significante.

Quando questionados sobre sua percepção quanto à prática de realizar a GL, 60% responderam que a prática é muito boa, 35% opinaram como boa e apenas 5% reconheceram a prática como regular, como mostra a Figura 1.

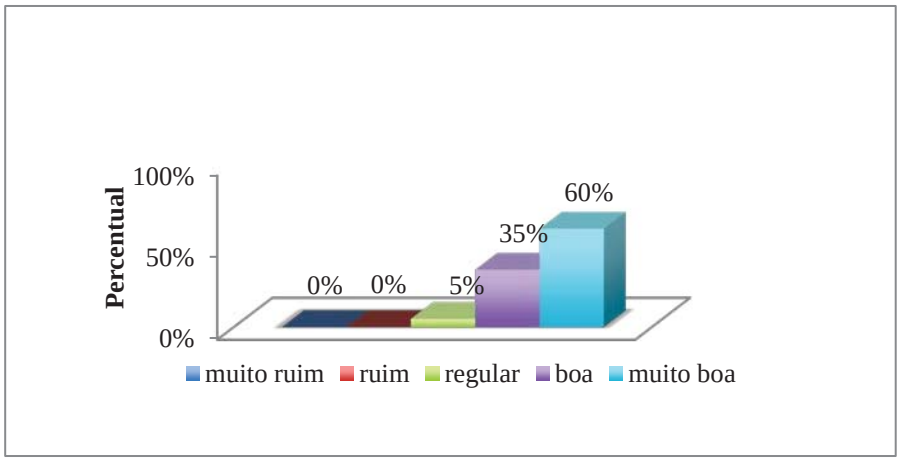


Figura 1 – Distribuição percentual da percepção da GL

Fonte: Dados de pesquisa (2010)

Fato que se confirma com a grande aceitação da GL (Figura 2), demonstrando que 65% dos funcionários realizam 5 vezes por semana, os dias que a prática é oferecida.

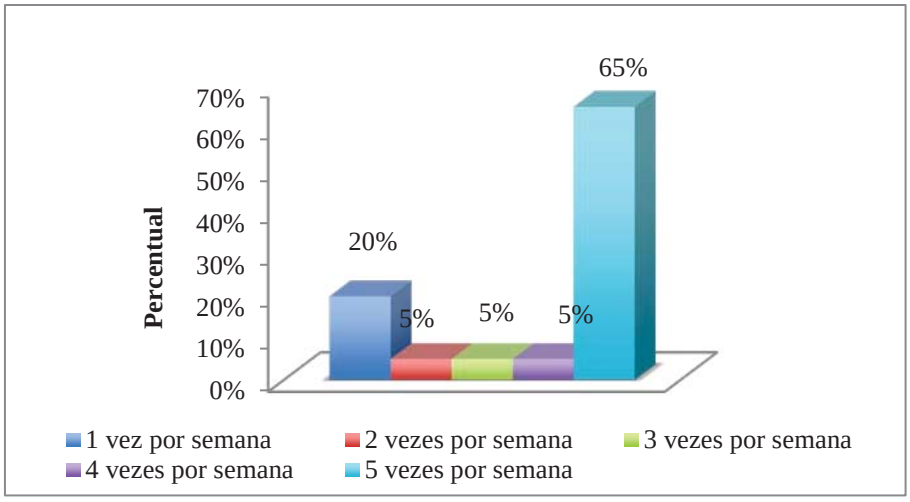


Figura 2 – Distribuição percentual da frequência de prática da GL

Fonte: Dados de pesquisa (2010)

Buscamos saber em qual horário o funcionário ver melhor resultado da GL em relação ao cansaço físico e 80% destes responderam que se sentem menos cansados quando a prática é realizada no inicio da jornada, ou seja, a GL preparatória.

Quanto à opinião dos funcionários sobre os motivos que fizeram a empresa aderir ao programa da GL, identificamos que, na visão dos funcionários, os maiores motivos que levaram a empresa a implantar o programa foram: prevenir e reduzir os casos de doenças ocupacionais; diminuir o tempo e a quantidade de afastamentos devido a doenças ocupacionais; diminuir o estresse ocupacional; começar ou continuar os programas de qualidade de vida no trabalho. Esse resultado demonstra a conscientização sobre os objetivos da realização da GL.

Alguns benefícios foram listados no que se refere às mudanças e resultados ocorridos com cada um na implantação da GL, como mostra o quadro 2.

Quadro 2 – Mudanças e resultados ocorridos após a GL

Mudanças/ Resultados	Percentuais
Retornei mais bem disposto (a) para o trabalho após a aula de GL	18%
Senti menos dores, tanto em casa como no trabalho	12%
Diminuiu meu cansaço (fadiga)	17%
Melhorou o relacionamento entre os colegas	13%
Passei a me exercitar com maior frequência	4%
Passei a me alongar mais	5%
Melhorou a minha saúde	5%
Diminuiu meu estresse	15%
Diminuíram as dores no corpo	11%

Fonte: Dados de pesquisa (2010)

Por fim, associado aos resultados e mudanças pessoais satisfatórios para os funcionários que realizam a GL, questionamos sobre as melhorias percebidas em relação ao sistema produtivo. O resultado está apresentado no quadro 3.

Quadro 3 – Percepção de melhorias

Melhorias percebidas	Percentuais
Houve diminuição de doenças ocupacionais	17%
Aumentou a sua produtividade	10%
Melhorou a sua integração com seus colegas de trabalho	16%
Aumentou o seu desempenho no trabalho	18%
Aumento de sua satisfação com a empresa	10%

Fonte: Dados de pesquisa (2010)

Foi visto que a maioria aponta a GL como um fator motivacional para os funcionários. Além disto, apontam: a percepção quanto à redução de doenças ocupacionais; a melhoria da integração com seus colegas de trabalho; o aumento de produtividade; o aumento de sua satisfação com a empresa, demonstrando o reconhecimento da preocupação da empresa para com os funcionários. Tais dados confirmam a validação da GL como método benéfico tanto para o empregado como para empresa.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ideia deste trabalho foi de se conhecer os benefícios elencados pelos trabalhadores, advindos com a prática de GL no ambiente de trabalho, para melhoria de sua saúde e da sua qualidade de vida.

Assim, chega-se ao entendimento de que, durante o trabalho no setor de montagem, os trabalhadores executam atividades que exigem do corpo, principalmente do sistema osteomuscular, através de movimentos repetidos, posturas inadequadas, devido à posição todo o tempo "de pé", dentre outros que podem trazer consequências negativas à saúde do trabalhador, possivelmente se materializando em uma doença ocupacional, do tipo LER ou DORT. Com isso, se vê na GL uma forma benéfica de reduzir e prevenir o processo de fadiga e outros distúrbios relacionados à tarefa.

Sabemos que muitas vezes os empresários pensam em adotar a GL com o objetivo principal de ganho final no aumento de produtividade e lucro, contudo, os resultados quantitativos e qualitativos vão além disso, se mostrando e conscientizando os administradores de que a utilização, de forma saudável, deste tipo de atividade proporcionará melhoria na qualidade de vida e na saúde dos trabalhadores, que se sentirão mais bem dispostos e motivados para o trabalho, e isso poderá se refletir positivamente em aumento de produtividade.

Por fim, é importante destacar que o crescimento econômico não deve sobrepor à vida e à saúde dos trabalhadores e que atitudes como estas se apresentam como uma ferramenta importante na busca de melhores condições de trabalho.

REFERÊNCIAS

ABERGO. Associação Brasileira de Ergonomia. **Ergonomia – O que é Ergonomia?** Disponível em: <http://www.abergo.org.br/internas.php?pg=o_que_e_ergonomia>. Acesso em 03 Junho de 2011.

BRANDÃO, A.G.; HORTA, B.L.; TOMASI, Elaine. Sintomas de distúrbios osteomusculares em bancários de Pelotas e região: prevalência e fatores associados. **Revista. Bras. Epidemiol**., São Paulo, v.8, n.3, p 295-305, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde do Brasil. **Doenças Relacionadas ao Trabalho**: manual de procedimentos para os serviços de saúde. Brasília, 2001. 289p. (Série A. Normas e Manuais Técnicos).

CIPA. caderno informativo de prevenção de acidentes **Benefícios da Ginástica Laboral**. São Paulo, n. 232, p 30-43, 1999.

COSTA, R. P. N. **Ginástica Laboral (GL): caminho para uma vida mais saudável no trabalho, benefícios aos funcionários do setor administrativo da prefeitura de João Pessoa – PB**. João Pessoa: FIP, 2008. 52 p. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança no Trabalho) Programa de Pós- Graduação, Faculdades Integradas de Patos.

DAVID, G.C. Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. **Revista Occup Med**., n. 55, p 190-9, 2005.

IIDA, Itiro. Ergonomia:Projeto e Produção**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.**

MARCHESINI, Carlos Eduardo. **Revista Mackenzie,** São Paulo , v.2, n.1, p 33-46, 2002.

Organizacion Mundial de La Salud – OMS. **Identificación de enfermedades relacionadas com el trabajo y medidas para combatelas**. Série Informe Técnico714, 77p. Genebra: OMS, 1985.

PAGLIARI, Paulo. **Revista Consciência,** Palmas, v. 16, n.2 , p 19-30, 2002.

RODRIGUES, A.; XAVIER, A.A.P; PILATTI, L.A.; FRANCISCO, A.C. **Análise funcional de programas de ginástica laboral: um estudo de caso realizado em uma empresa alimentícia de grande porte, na**

cidade de Ponta Grossa. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1., 2005, Bauru. **Anais**... Bauru: XII SIMPEP 2005, p. 1-8.

VIDAL, Mario Cesar Rodríguez; ALMEIDA, Carlos de Souza. **Programas de ergonomia na empresa como competência imprescindível para a competitividade mundial.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1., 2000, São Paulo. **Anais**... São Paulo: XX ENEGEP, 2000, p. 1-8.

CENÁRIOS PROSPECTIVOS: UTILIZAÇÃO DOS SOFTWARES PUMA E LINCE INOVANDO O PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO

Edevaldo Albuquerque Fialho[1]
[1]Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Amazonas – Campus Manaus Distrito Industrial
[1]edevaldo@ifam.edu.br

RESUMO

A prospecção do futuro das organizações vem sendo bastante debatida no decorrer dos tempos e sem sombra de dúvida, pode-se dizer ser uma das intrigantes necessidades das instituições, autores que pesquisam o assunto, afirmam que o futuro destas, pode ser construído a partir de seu planejamento estratégico. A construção de cenários prospectivos, ganha espaço, a partir do momento que considera alternativas múltiplas e incertas e surge como um componente de suma importância para esta ação de planejar nas diversas instituições seja ela: pública, privada ou do terceiro setor. Nesta linha raciocínio, este trabalho tem o objetivo de mostrar as especificidades dos softwares "Puma 4.0" e "Lince 1.0" e suas aplicações como ferramentas fundamentais de apoio a todo processo de planejamento e gestão estratégica através do Método Grumbach. A pesquisa pode ser considerada de caráter descritiva, onde inicialmente se apoiará em uma revisão bibliográfica, para desencadear os pormenores que envolvem a aplicação dos softwares como forma de otimizar o planejamento nas organizações. Pode-se comprovar nos resultados da pesquisa que a construção de cenários prospectivos apoiados no PUMA 4.0 e Lince 1.0, facilita a visão das oportunidades e ameaças que porventura possam ocorrer nas organizações.

Palavras-chave: cenários; Método Grumbach; softwares; futuro.

1. INTRODUÇÃO

A crescente evolução da pesquisa no desenvolvimento de técnicas e métodos vem fazendo com que o planejamento estratégico nas organizações seja o ponto central nas suas ações, tendo sua aplicação, como meio de sobrevivência organizacional, tal fato tem seu encaminhamento ligado de forma direta com as transformações no ambiente, que apesar de bastante planejadas, as vezes são imprevisíveis, ao ponto de fazerem com que a administração nas instituições sejam expostas a situações bastante complexas em relação ao que ocorria em épocas passadas.

Neste sentido, a prospecção de cenários tem se apresentado como um recurso que contribui de maneira significativa na criação e implantação das estratégias que são colocadas com vistas a simulação e formulação de projeções futuras.

Nesta linha de raciocínio, o futuro e seus possíveis cenários podem perfeitamente serem prospectados no planejamento nas instituições. Tal iniciativa encaminha o gestor a procedimentos com mais confiança e consistência das dúvidas que possam existir na instituição, qualificando-o a enfrentar os desafios decorrentes dos processos oriundos da globalização e do acelerado avanço tecnológico, onde este em determinado momento pode provocar grande impacto na atuação das organizações no ambiente.

Nos últimos tempos, tem-se observado a aplicação de diversas ferramentas no planejamento estratégico e mais recentemente o uso do Método Grumbach que evoluiu substancialmente, passando a constituir uma sistemática de elaboração de Planejamento Estratégico com Visão de Futuro baseada em Cenários Prospectivos.

O referido método tem suas ações a partir dos softwares Puma 4.0 e Lince 1.0, sendo assim, a problemática é a mensuração da eficácia destes programas nos resultados das instituições, tanto que o objetivo da pesquisa busca mostrar principalmente a interatividade e a forma de aplicação dos mesmos como componentes do Método Grumbach.

2. MÉTODO GRUMBACH

Foi desenvolvido, a partir de 1996, por Raul Grumbach, brasileiro que estudou o desenvolvimento de Cenários Prospectivos por cerca de dois anos na Espanha e, posteriormente, conseguiu aliar algumas idéias de autores consagrados, como Igor Ansoff, Michael Porter e Michel Godet, às suas próprias conclusões e às de sua equipe, fruto da prestação de consultorias a várias empresas públicas e privadas no Brasil.

O sucesso do Método Grumbach pode ser explicado por sua adoção em grandes organizações, dentre elas o Banco do Brasil, o Exército Brasileiro, o Ministério Público do Estado de Goiás, o Ministério Público do Trabalho, a Polícia Federal e prefeituras de cidades importantes do Brasil e do Peru, que dele se utilizaram no desenvolvimento de seu Planejamento Estratégico.

Sua aplicação tem amparo em várias técnicas e métodos, como:

- Brainstorming – traduzido por “tempestade de ideias”, trata-se de uma técnica de trabalho em grupo, na qual a intenção é produzir o maior número possível de soluções para um determinado problema. serve para estimular a imaginação e fazer surgir idéias, o que seria mais difícil se as pessoas trabalhassem isoladamente.
- Método Delphi – seu propósito é resolver os impedimentos que ocorrem em uma sala de conferência quando se busca um consenso entre especialistas. Consiste em interrogar individualmente, por meio de sucessivos questionários, um determinado grupo de peritos.

- Método dos Impactos Cruzados – consiste em uma revisão das probabilidades estimadas a priori, em função do impacto que a suposta ocorrência de um evento causa na probabilidade de ocorrência dos demais, ou seja, o método preocupa-se em observar a interdependência entre os diversos elementos do estudo, analisando as questões formuladas com enfoque sistêmico, necessário para elaboração de cenários prospectivos.

O método Grumbach é informatizado pelos softwares Puma e Lince e se desenvolve em quatro fases:

1 - Identificação do sistema – tem por propósito a compreensão e definição do sistema objeto do planejamento com base em cenários prospectivos.

2 – Diagnóstico estratégico – visa a realização de um estudo detalhado das principais questões ligadas ao sistema e ao ambiente no qual ele está inserido. O objetivo desse estudo é a identificação dos fatos portadores de futuro.

3 – Visão estratégica – contempla três grandes etapas:

a) a de visão de presente, representando uma análise das causas e conseqüências dos fatos portadores de futuro levantados na fase anterior;

b) a de visão de futuro – momento em que são construídos os cenários por meio da utilização das técnicas de brainstorming, dos métodos Delphi e de impactos cruzados e da simulação Monte Carlo;

c) a de avaliação de medidas e de gestão de resistências.

4 – Consolidação – representa o momento em que são definidos ou revistos os direcionadores estratégicos da organização, com base nos resultados da visão estratégica, e elaborados seus planos estratégicos e setoriais. Ao final desse processo a instituição estará apta a enfrentar o ambiente em constante mudança, construir o seu futuro e, com isso, aumentar a sua competitividade em um mundo cada vez mais turbulento e competitivo.

As figuras 1 e 2 reproduzem as telas em que são apresentadas as fases e etapas informatizadas nos softwares Puma e Lince.

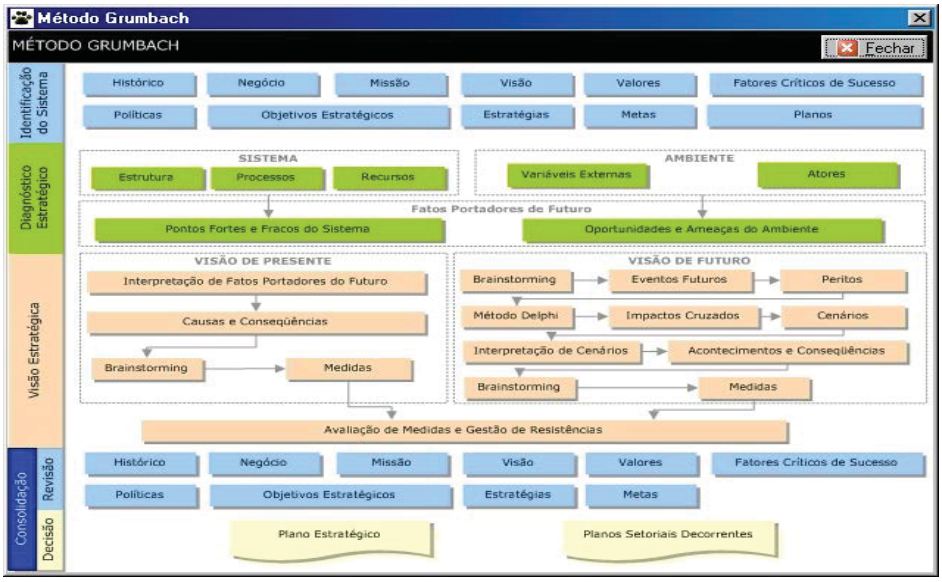


Figura 1 – O Método Grumbach e o Puma

Figura 2 – O método Grumbach e o Lince

3. ABORDAGEM TEÓRICA DE CENÁRIOS PROSPECTIVOS

A prospecção nos traz o conhecimento de que o futuro sempre estar por ser realizado, de acordo com a visão de quem os constrói. Logo, cenários prospectivos dependem das visões e expectativas dos gestores que conduzem o processo de planejamento. Há a necessidade de possuir técnicas e métodos definidos, evitando o famoso achotécnico. A construção de cenários não pode de forma alguma ter uma visão projetiva, ou seja levar em consideração somente os fatos e dados que aconteceram no passado.

Os conceitos, descritos pelos teóricos que debatem prospecção, obedecem a uma regra básica da prospectiva – o futuro é múltiplo e incerto. Dentre esses autores destacamos os seguintes conceitos:

Godet (1997) descreve que "o conjunto formado pela descrição, de forma coerente, de uma situação futura e do encaminhamento dos acontecimentos que permitem passar da situação de origem à situação futura.". Este ainda complementa o conceito ressaltando que um cenário não é a realidade futura, mas um meio de representá-la, com o objetivo de nortear a ação presente à luz dos futuros possíveis e desejáveis.

De acordo com Schwartz (1996), cenários são uma ferramenta para ordenar a percepção sobre ambientes alternativos futuros, nos quais as decisões pessoais podem ser cumpridas. Ou um conjunto de métodos organizados para sonharmos sobre o futuro de maneira eficiente. De forma resumida, o autor define cenários como "histórias de futuro", que podem nos ajudar a reconhecer e nos adaptarmos aos aspectos de mudança do ambiente presente.

Cenários são ferramentas que têm por objetivo melhorar o processo decisório, com base no estudo de possíveis ambientes futuros. Não devem ser tratados como previsões capazes de influenciar o futuro, nem como histórias de ficção cientifica montadas somente para estimular a imaginação. Os cenários têm como foco assuntos e informações de grande importância para os tomadores de decisão,

assim como os elementos previsíveis e imprevisíveis do ambiente que afetam o sistema em que a empresa está inserida.

Cenários são ambientes alternativos nos quais os acontecimentos de hoje surtem efeito. Eles não são predições, nem tampouco estratégias. Ao contrário, são narrativas vivas de futuros diferentes e divergentes, desenhados especialmente para ressaltar os riscos e oportunidades inerentes às estratégias, enriquecendo o processo de planejamento. Um leque de cenários alternativos proporciona um caminho para se focar no futuro, porém sem perder a perspectiva das outras possibilidades.

4. METODOLOGIA

A pesquisa em questão é de natureza descritiva, pois parte de registros, análise e observações sem manipulação de fatos e tem a particularidade de buscar sempre as respostas com a maior precisão possível. Compõe também este estudo a pesquisa bibliográfica, haja vista, que esta procura explicar um problema a partir de referências teóricas publicadas. Segundo Cervo e Bervian (2007) a pesquisa bibliográfica "pode ser realizada independentemente ou como parte da pesquisa descritiva".

Sendo, assim, buscou-se verificar as aplicações dos softwares Puma e Lince, partindo de um estudo teórico em suas funções, para então valer-se de uma aula técnica de planejamento estratégico em uma empresa fictícia, apoiada na utilização dos programas em questão, pois os softwares já foram utilizados em empresas de porte como: Banco do Brasil, o Exército Brasileiro, o Ministério Público do Estado de Goiás, o Ministério Público do Trabalho, a Polícia Federal, etc.

5. DESCRIÇÃO E APLICAÇÃO PRÁTICA DO PUM A E DO LINCE

A seguir serão mostrados os pormenores que fazem parte do software Puma e Lince, onde através de um estudo técnico, poderá ser observada as funções e aplicações de cada um destes no planejamento estratégico de uma empresa fictícia de aviação (VooSollo) a partir do Método Grumbach.

5.1 Puma 4.0

Permite o cadastramento de dados fundamentais (identificação do sistema), dos dados referentes ao diagnóstico estratégico, da visão estratégica, englobando as visões de presente e de futuro, avaliação de medidas e gestão de resistências e a consolidação de um plano estratégico.

Fase 1: Identificação do sistema – constitui a Primeira Fase do Método, trata-se do conjunto de informações que caracterizam e individualizam a organização pública ou empresa provada, no ambiente em que se encontram inserida e que orientam toda a realização do planejamento estratégico, uma vez, que nesses dados estão inseridos o propósito do sistema.

Uma vez definido o problema pelo decisor estratégico, o grupo de controle iniciará efetivamente seu trabalho, identificando e registrando no software, os dados relativos a histórico, negócio, missão, valores, fatores críticos de sucesso, políticos, objetivos estratégicos, metas e planos. A seguir veremos algumas telas de itens inseridos na identificação do sistema:

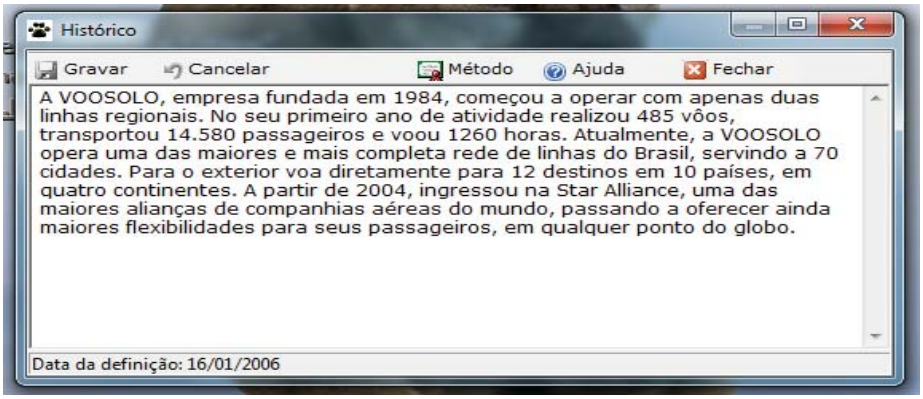


Figura 3 – Histórico da instituição

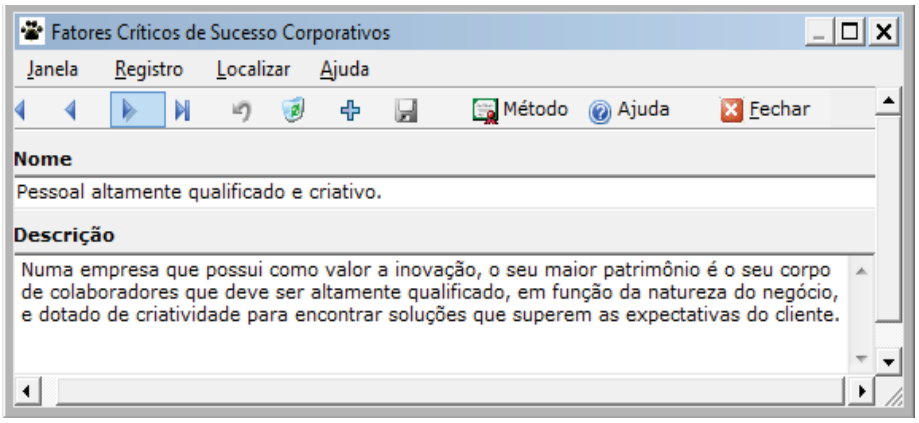


Figura 4 – Fatores críticos de sucesso Corporativos

Os diversos componentes da Identificação do Sistema geram relatórios para uma melhor compreensão dos gestores, conforme a figura abaixo, que demonstra o relatório de objetivos, estratégias e metas.

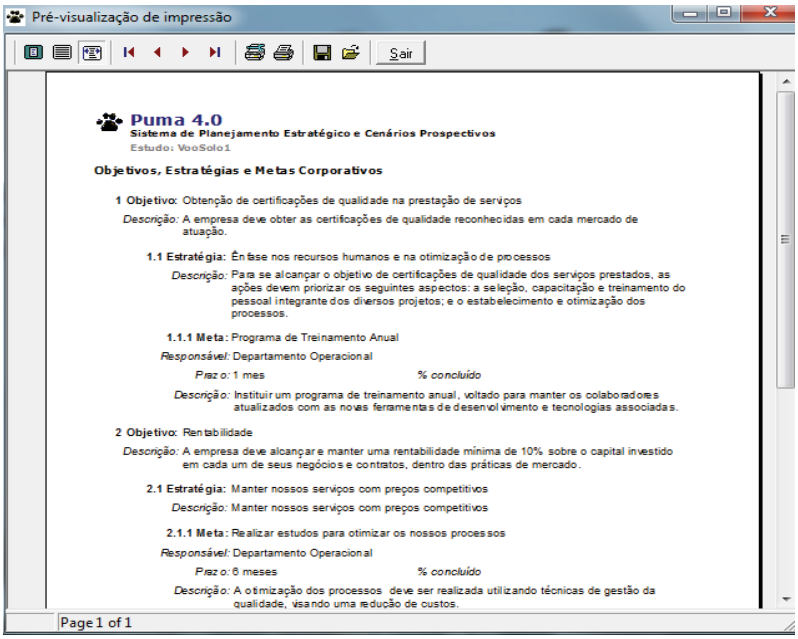


Figura 5 – Relatório de Objetivos, Estratégias e Metas corporativas

Deve ser observado que nessa primeira fase não se cria nada de novo, apenas se constata o que vem realizado pela organização pública ou empresa privada até o momento. Estes dados fundamentais do sistema constituem os parâmetros que orientarão a pesquisa a ser conduzida na fase seguinte, denominada "diagnóstico estratégico".

Fase 2: Diagnóstico Estratégico – Esta Fase, como o próprio nome indica, consta de um diagnóstico detalhado do Sistema (Instituição) e do Ambiente em que ele se insere, visando a extrair de ambos, respectivamente, os Pontos Fortes e Fracos da Instituição, e as Oportunidades e Ameaças do Ambiente, que comporão, por sua vez, os Fatos Portadores de Futuro (Análise SWOT).

Pode-se dizer que esta Fase tem, basicamente, duas grandes características: Pesquisa e Compreensão. Uma vez concluída a Pesquisa, isto é, o Diagnóstico Estratégico, a instituição disporá de um conjunto de Fatos Portadores de Futuro (Pontos Fortes / Fracos do Sistema e Oportunidades / Ameaças do Ambiente). A seguir apresentam-se algumas telas geradas pelo Puma na Fase de Diagnóstico Estratégico, onde obterá um "Raio X" da situação atual da instituição pesquisada.

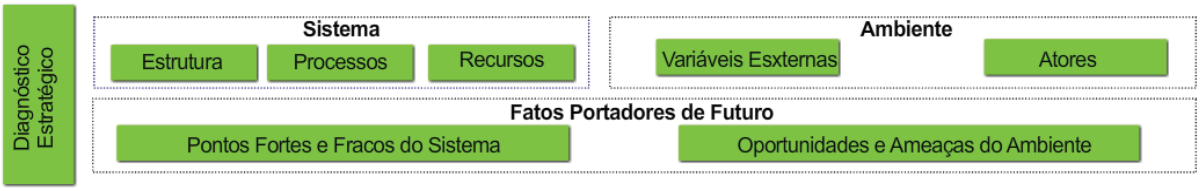


Figura 6 – Itens da tela Diagnóstico Estratégico

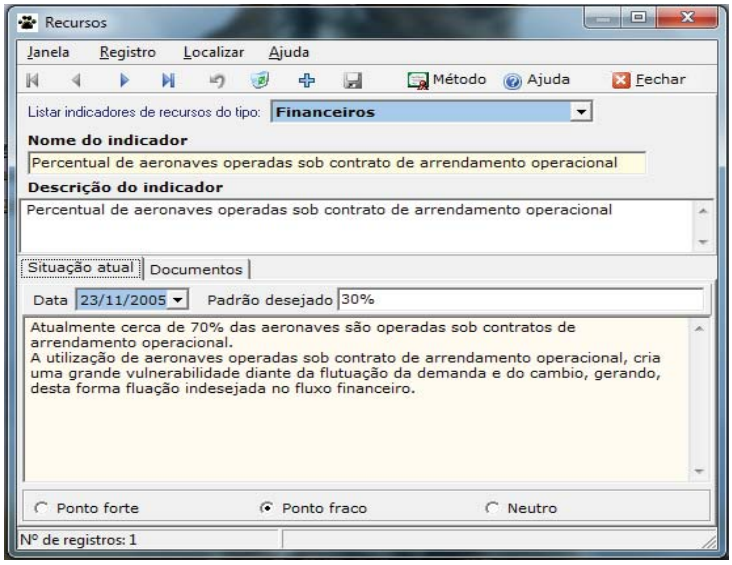


Figura 7 – Recursos – apresentando um ponto fraco.

É com base nesse diagnóstico da situação atual que se extraem e condensam as informações relevantes ao sistema e do ambiente para o estudo em questão, informações estas que serão desenvolvidas na fase seguinte, denominada visão estratégica.

Fase 3: Visão estratégica - A partir dos Fatos Portadores de Futuro do Sistema e do Ambiente, deverão ser conduzidas, inicialmente, em paralelo, duas Etapas, denominadas, respectivamente, Visão de Presente e Visão de Futuro. A primeira busca o estabelecimento de Medidas de curto e médio prazos, baseados em uma visão atual do sistema e do ambiente. A outra visa o estabelecimento de Medidas de médio e longo prazos, a partir de uma visão de futuro do ambiente,

com base na geração e interpretação de Cenários Prospectivos. A figura a seguir mostra a tela gerada a partir da Visão de Futuro.

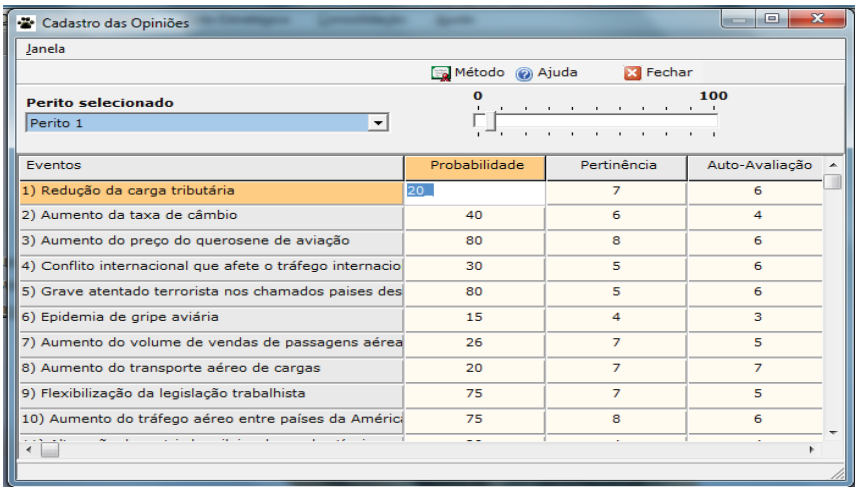


Figura 8 – Visão de Futuro (opinião dos peritos)

Fase 4: Consolidação do planejamento - Revisão (dos Dados Fundamentais do Sistema) e Decisão.

Revisão: Primeira Etapa da Fase de Consolidação, na qual, como o próprio nome indica, revêem-se os Dados Fundamentais do Sistema, levantados ao início ou durante o Planejamento, para constatar se deverão sofrer alterações, em função da Avaliação de Medidas realizada ao final da fase anterior (Visão Estratégica) e cadastram-se, de maneira preliminar, essas alterações.

Decisão: Segunda Etapa da Fase de Consolidação, na qual a alta gerência da instituição aprova e consolida, formalmente, o processo de Planejamento por meio de um documento denominado Plano Estratégico que, por sua vez, poderá originar diversos Planos Setoriais decorrentes.

Nestas etapas, são executados o Plano de Metas e o Plano Estratégico, que deve ser assinado pelo decisor estratégico para registro e disseminação para os setores da organização que devam tomar conhecimento do seu conteúdo. Este documento por sua vez, poderá originar diversos planos setoriais.

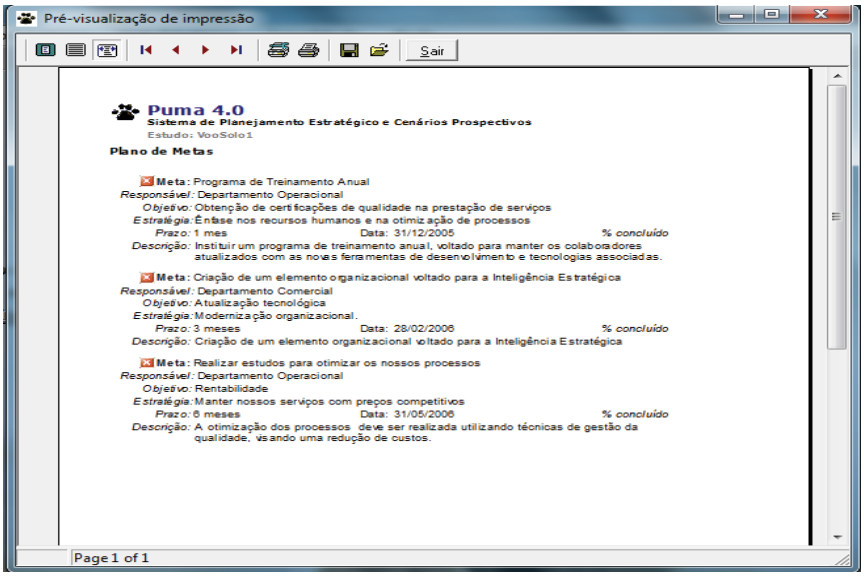


Figura 9 – Plano de Metas

5.2 Lince 1.0

O método Lince é a denominação simplificada do processo de simulação e construção de futuro, informatizado pelo software Lince, que permitiu a evolução do Método Grumbach de um sistema de planejamento estratégico para outro, de gestão estratégica. Desenvolve-se em cinco passos: inteligência competitiva, dinâmica dos cenários, tória dos jogos, cones de futuro e interpretação da dinâmica dos cenários. As figuras abaixo, mostram algumas telas do Lince, que tem como característica a emissão de diversos relatórios produzidos pelas informações migradas do PUMA e as produzidas no desenvolvimento de estudos de Inteligência competitiva.

A segunda Fase dinâmica de Cenários apresenta a percepção que se tem do futuro, onde a tela a Lista de Cenários é a mesma que foi migrada do PUMA e que representa a opinião dos peritos.

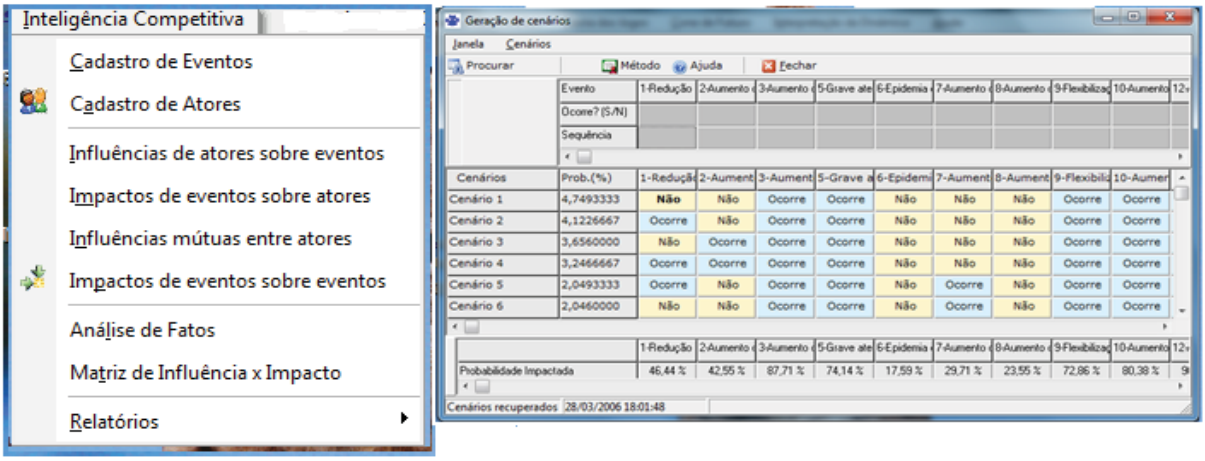


Figura 10 – Inteligência competitiva e dinâmica de cenários

A Teoria dos Jogos a partir da Ação Ofensiva tem a função de escolher um Cenário Alvo. A tela Cone de Futuro permite que se estabeleçam pactos a serem firmados com outros atores. Os pactos devem ser amparados por medidas simuladas.

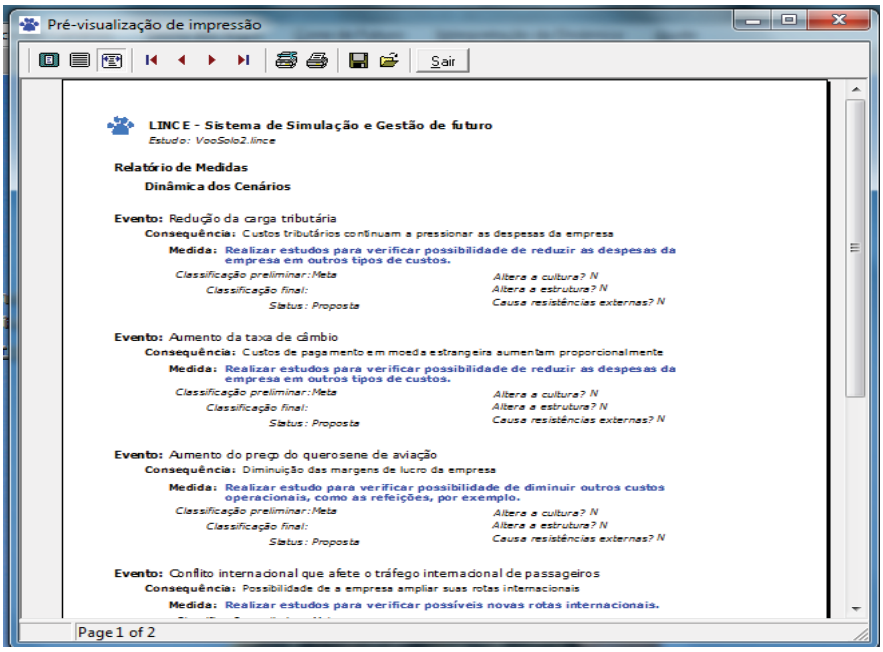


Figura 11 – Relatório de Medidas

Em suma, o Lince assegura que, em um primeiro momento, se agreguem medidas de parcerias estratégicas e de construção de futuro e, com o surgimento de novos fatos, a revisão de medidas de futuro, fruto de uma interpretação de dinâmica de cenários.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os cenários prospectivos fazem um contraponto à visão projetiva, em que o futuro é visto como uma continuação das tendências passadas e analisado como único e certo. Na abordagem prospectiva, por outro lado, são examinadas, além das tendências do passado, possíveis rupturas. O futuro real será único, contudo, os futuros possíveis são vistos como múltiplos e incertos.

Sendo assim, o planejamento estratégico efetuado em conjunto com softwares que já provaram ser parceiros nos resultados futuros de uma instituição, mostram a eficácia destes como ferramentas de apoio indispensável para as tomadas de decisão, o que sem sombra de dúvidas pode ser considerado uma inovação na gestão, seja ela, pública ou privada.

Portanto, pode-se verificar Puma está focado no planejamento estratégico com base no cenário mais provável, ao passo que o Lince está focado do cenário normativo. O início de qualquer estudo ocorre no Puma, onde são gerados os cenários. O Lince acrescenta as informações de inteligência competitiva e permite a simulação condicional de ocorrência de eventos. O cenário normativo e as ações necessárias para atingi-lo, obtidos no Lince, são migrados para o Puma, onde são confrontados com as ações de curto prazo. Todas as medidas previstas deverão passar por uma fase de análise, onde, entre outros critérios, residem os valores que norteiam a organização.

Logo, a aplicação do Método Grumbach informatizado com o Puma e o Lince mostrou que pode fornecer respostas consistentes para problemas complexos. De certa forma, a coerência das soluções valida a metodologia, mostrando que o planejamento estratégico, agregado a uma correta visão de futuro, com o emprego de análise de interações estratégicas, consiste numa poderosa ferramenta para a construção de um futuro melhor.

REFERÊNCIAS

CERVO A L; BERVIAN P A; SILVA R. **Metodologia Científica.** ed. 6. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

GODET, M. "**A caixa de ferramentas da prospectiva estratégica – problemas e métodos"..** Cadernos do Centro de Estudos de Prospectiva e Estratégia nº 5 do LIPS, Lisboa, 1997.

MARCIAL, E. C., GRUMBACH, R. J. S**. Cenários prospectivos: como construir um futuro melhor**. 5 ed. Rio de Janeiro: FGV, 2008.

SCHWARTZ, Peter. **The Art of long view. Planning for the future in an uncertain world**. New York : Doubleday, 1996.

O PAPEL DA GESTÃO ESTRATÉGICA DE CUSTOS NO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DAS EMPRESAS

S. C. Carvalho[1], A. L. J. B. Freire[2], A. M. Minori[3] e A. C. B. Rocha[4]
[1]Universidade Federal do Amazonas – Campus Manaus, [2]Universidade Federal do Amazonas – Campus Manaus, [3]Universidade Federal do Amazonas – Campus Manaus e [4]Universidade Federal do Amazonas – Campus Manaus
sil.tailandesa@gmail.com – adrianajezini@gmail.com – aminori@bol.com.br – augusto@ufam.edu.br

RESUMO

As empresas estão formulando estratégias cada vez mais complexas em busca de uma vantagem competitiva sustentável para sobreviver num mercado globalizado, onde as fronteiras foram praticamente eliminadas. A gestão estratégica de custos entra em cena para direcionar e apoiar a estratégia escolhida pela organização, sua missão perpassa a simples mensuração de custos. Seu objetivo é avaliar de forma macro quais fatores externos e internos da organização precisam ser analisados para proporcionar o êxito empresarial. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é demonstrar a relevância da gestão estratégica de custos para o planejamento estratégico das organizações, através de um estudo fundamentado essencialmente nas teorias de Porter. A metodologia aplicada foi uma pesquisa exploratória bibliográfica por meio da leitura de livros e artigos relacionados ao tema abordado. Após a conclusão da pesquisa foi possível identificar a importância da gestão de custos para as empresas, e de que forma se configura como uma vantagem competitiva. Foi possível apreender que a gestão estratégica de custos pode ser utilizada para proporcionar vantagem competitiva à empresa independente da estratégia corporativa adotada pela organização.

Palavras-chave: custos, vantagem competitiva de custos, planejamento estratégico

1. INTRODUÇÃO

Para o planejamento estratégico e a tomada de decisão, as informações de custos não se limitam apenas aos custos de produtos. Há a necessidade de outras informações tais como: custos sobre clientes, fornecedores e projetos (HANSEN e MOWEN, 2003). Gerir custos é uma das tarefas fundamentais para os administradores na atualidade, essa necessidade tem sido intensificada nos últimos anos, devido às fortes pressões do mercado que tornam os clientes cada dia mais exigentes.

Os gestores demandam informações gerenciais que suportem o processo decisório num ambiente de incertezas e que os orientem ao alcance das estratégias estabelecidas (BEUREN e ERFURTH, 2010). Proporcionar informações fidedignas, e com uma linguagem clara e simplificada é a função dos relatórios gerenciais de custos, e através deles é possível avaliar em detalhes se a estratégia está indo no caminho certo, e gerando os resultados esperados.

Há uma diversidade de escolas e abordagens na área do planejamento estratégico, essa área do conhecimento tem recebido uma forte contribuição científica nos últimos anos, e essas informações tem se propagado entre as organizações rapidamente, dentre os autores tem-se: Mintzberg, Ahlstrand e Lampel (2000), Bethlem (2004) e Porter (2004). Esse esforço das empresas é válido, e deve ser incentivado continuamente, porém independente da estratégia adotada, seja tradicional ou contemporânea, a questão de estratégia passará necessariamente pela questão de custo.

Para Slack et al (2009), seja qual for a estratégia, de preço ou outra, um dos objetivos é o custo, isso porque, quanto menor o seu custo, melhor será sua rentabilidade e, para as empresas que concorrem em preço, maior será a possibilidade de atrair consumidores interessados em preços baixos.

A gestão estratégica de custos se configura como um dos principais pilares do planejamento estratégico das empresas, inclusive para as instituições sem fins lucrativos, que num primeiro momento não estariam diretamente competindo em custos, elas por outro lado tem a necessidade de buscar maior customização da missão e melhor uso dos recursos.

A pesquisa possui caráter exploratório, que conforme Gil (1996) visa trazer maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito. Quanto aos procedimentos técnicos foi realizado um levantamento bibliográfico, utilizando-se de fontes secundárias, onde procurou-se relacionar a importância da gestão estratégica de custos para a formulação da estratégia nas empresas, através da estruturação de conceitos de estratégia, seguido do aspecto de competitividade e vantagem competitiva, abordando-se ainda os principais conceitos e objetivos das gestão estratégia de custos, e por fim, chegando a conclusão do problema estudado.

2. ESTRATÉGIA: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

Para Bethlen (2004), a estratégia é uma área de conhecimento complexa, onde seus elementos podem ser vistos sob diversos pontos de vista, juntos ou separados, e ainda relacionados de diversas maneiras, o que torna a semântica da área de estratégia imprecisa e confusa. Através da afirmação do autor é possível começar a dimensionar a amplitude do conceito de estratégia e quão amplo é seu objeto de estudo, já que a estratégia está presente em todas as esferas da nossa sociedade.

Para atender a esta diversidade de conceitos foram geradas uma gama de literatura a respeito do tema, por consequência, a conceituação da estratégia pode ser ampla, e entendida sob vários ângulos, de acordo com a linha dos respectivos autores. Entre os vários conceitos de estratégia, o mais popular é a estratégia entendida como um plano visando atingir determinados resultados. Segundo Mintzberg, Ahlstrand e Lampel (2000) esta definição de estratégia “tem duas características essenciais: criadas

antes das ações as quais vão se aplicar e são desenvolvidas consciente e positivamente" visando um resultado.

Se estratégia é um plano para alcançar um resultado futuro, porque muitas organizações não conseguem alcançar os resultados esperados? Elas adotaram a estratégia errada ou simplesmente deixaram a estratégia apenas no plano das ideias num processo de abstração que lhes é peculiar, não sendo implementada a contento?

Seguindo este raciocínio, retornamos à Mintzberg, Ahlstrand e Lampel (2000), definindo a estratégia como um padrão, uma consistência de comportamento. Podemos concordar então, que a estratégia pode referir-se a futuro, um plano aonde se quer chegar, e passado, um comportamento recorrente. Uma estratégia pretendida e uma estratégia realizada.

Sendo assim, apesar da estratégia ser um plano futuro quando ela não é legitimada pela cultura organizacional, ela pode ser ignorada por seus colaboradores, o que comumente é chamado de resistência à mudança. Essa resistência se dá devido a diversos fatores, porém o mais comum é o apego às práticas já estabelecidas e o processo de desaprender essa cultura é normalmente demorado, a empresa passa por uma deriva estratégica, entrando em crise até acertar um novo planejamento.

A conceituação da estratégia como vimos pode ser simples e feita em poucas palavras, com pensamentos comuns a alguns autores ou de reflexões divergentes, porém uma definição abrangente e interessante feita por Almeida, Machado Neto e Giraldi (2006) é estratégia como identificação e definição de metas, além de ações e padrões, para as quais são designados recursos e competências, considerando as influências e forças do ambiente ao qual está inserido, e ainda, considera o interesse organizacional e dos seus gestores. Esse processo envolve critérios críticos de decisão e as forças competitivas dos concorrentes.

Dentro deste conceito mais amplo pode-se perceber a estratégia como um processo mais dinâmico e com forte inter-relação com seu meio, essa visão dá espaço para o que Mintzberg et al (2006) chamou de estratégias emergentes, que advém do processo de aprendizado da organização, onde qualquer um nela pode ser um estrategista.

Segundo Fahey e Randall (1999), um dos grandes desafios enfrentados pelas organizações nos dias atuais é a gestão estratégica, pois se tornou um dos principais ingredientes para se atingir o sucesso. Uma gestão estratégica bem elaborada e executada, além de render bons frutos, faz com que a empresa consiga se estabelecer, e principalmente manter seu posicionamento no mercado. O mercado tornou-se altamente competitivo, o que exige dos gestores o alcance do principal objetivo das empresas, o retorno sobre o capital investido.

3. A COMPETITIVIDADE

Segundo Drucker (1999) as organizações devem assimilar e encarar a competitividade global como uma meta estratégica, nenhuma dessas instituições, seja com fins lucrativos ou não, deveria criar expectativa de se manter no mercado, e menos ainda ter sucesso, se não estiverem na ânsia de galgar os padrões estabelecidos pelos líderes de mercado do seu segmento em qualquer parte do mundo.

Continuando este raciocínio, Hansen e Mowen (2003) afirmam que "empresas estrangeiras não eram concorrentes, já que os mercados eram separados por uma distância geográfica. Hoje, tanto as empresas grandes quanto as pequenas são afetadas pelas oportunidades oferecidas pela concorrência global".

Para Porter (1989), as empresas competitivas são aquelas que se posicionam de forma lucrativa e sustentável contra as forças da concorrência. Na visão de Marconi e Silva (2002), "a corrida pela competitividade é inerente àquelas empresas que estão inseridas em ambientes competitivos, ou seja, onde há concorrentes com quem elas devem se preocupar", através dessa afirmação o autor pontua que a busca por uma posição de mercado permeia todas as empresas, talvez excetuando aquelas que ainda navegam em um oceano azul.

Porter (1986) demonstra que a vantagem competitiva de uma empresa está na maneira como ela se defende das forças competitivas do seu segmento, este cenário é apresentando através do modelo das cinco forças: compradores, fornecedores, entrantes potenciais, concorrentes atuais e os produtos substitutos, conforme matriz abaixo:

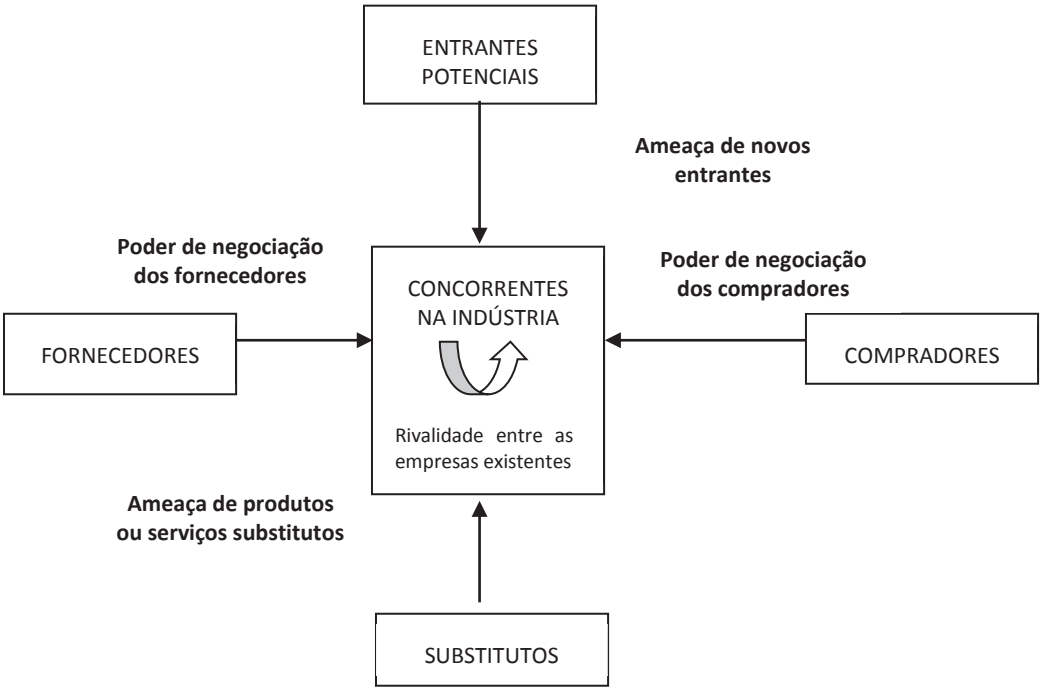


Figura 1: Matriz Fonte: Adaptado de Porter (1986).

As ameaças de novos entrantes, segundo Porter (1986), "trazem nova capacidade, o desejo de ganhar uma parcela do mercado e frequentemente recursos substanciais." Este fenômeno impacta no mercado de formas positivas e negativas, como por exemplo: queda nos preços, custos inflacionados, diminuição na rentabilidade, o que gera certa resistência das empresas já posicionadas no mercado, para aceitação dos novos entrantes.

A intensidade e amplitude dessas ameaças dependem das barreiras de entrada que são estabelecidas, as principais barreiras citadas por Porter (1999) são:

a) economias de escala: forçam os aspirantes a ingressar em grande escala ou obter uma desvantagem em custos;

b) diferenciação do produto: a identificação dos clientes com a marca força os novos entrantes a investir pesado para quebrar a fidelização estabelecida;

c) exigências de capital: a necessidade de investir um capital muito alto limita a entrada dos concorrentes;

d) desvantagem de custo, independente do tamanho: algumas empresas já estabelecidas podem contar com vantagens de custos que novos concorrentes poderão não obter, como a curva de aprendizado, tecnologia exclusiva, entre outros;

e) acesso a canais de distribuição: quanto mais limitado os canais atacadistas, mais difícil será tentar ocupar o lugar dos produtos já estabelecidos; e

f) política governamental: o governo pode limitar ou bloquear a entrada de novos competidores através de exigências de licenças ou outros artefatos.

Fornecedores e compradores com maior potencial de negociação podem influenciar diretamente na margem da empresa; os fornecedores de itens exclusivos ou que detém conhecimento em processamento de insumos mais específicos podem inflacionar seus preços, ou até oferecer matéria-prima de baixa qualidade para manter seus lucros; os clientes por sua vez passam a exigir melhor qualidade ou agregação de serviços, e normalmente buscam essas vantagens aliadas a manutenção dos preços anteriormente praticados.

Para Porter (1999) o risco do produto substituto é que ele limita o potencial de ganhos de um setor, quando esse produto oferece um diferencial superior ao proporcionado pelo setor, ele conquista uma boa fatia do mercado e os ganhos anteriormente praticados não são mais possíveis, porque esse produto perde valor sob a ótica do cliente.

É através do posicionamento da empresa em relação aos seus pares, concorrentes que atuam no mesmo segmento, que a empresa poderá determinar se sua rentabilidade esta acima ou abaixo da média, e para liderar esse nicho ou até mesmo manter um posicionamento, Porter (1989), define três estratégias genéricas que podem suportar estes objetivos: liderança de custos, diferenciação e enfoque. Já Mintzberg, Ahlstrand e Lampel (2000) as denominam de “forma familiar de manobras para posicionar – usando táticas como concorrência de preço, lançamento de produto e guerra de propaganda.”

Esse posicionamento envolve as oportunidades oferecidas pelo ambiente, os recursos existentes, a definição de metas e planos de ação (SHANK e GOVINDARAJAN, 1997 apud QUESADO e RODRIGUES, 2007).

Porter (1989) afirma que a estratégia genérica estabelece que a vantagem competitiva esteja no âmago de qualquer estratégia, e que para alcançá-la, a empresa precisa fazer uma escolha, sendo fundamental manter seu foco, pois não é possível adotar todas as estratégias sem comprometer seu desempenho, pois a falta de objetividade pode destruir a estratégia da empresa.

A vantagem competitiva é obtida quando a organização realiza as suas atividades de relevância de uma forma menos dispendiosa ou melhor que seus concorrentes (MARCONI e SILVA, 2002). Porter (1990) relacionou vantagem com a criação de valor, ou seja, a vantagem competitiva surge do valor que uma empresa consegue criar para seus compradores, e que ultrapassa o custo de fabricação do produto ou serviço, proporcionando o diferencial de uma empresa em relação às demais.

Hansen e Mowen (2003) definem vantagem competitiva de forma mais abrangente, sendo “a criação de um valor melhor para o cliente por um custo igual, ou mais baixo, do que aquele oferecido pelos competidores, ou a criação de valor equivalente por um custo menor do que aquele oferecido pelos competidores”. Essa vantagem competitiva pode advir de uma das estratégias genéricas adotadas,

porém é necessário uma contínua busca por artefatos que implementem e fortaleçam a estratégia escolhida.

Voltando a obra de Porter (1989), o autor relaciona as estratégias competitivas, dentre estas a estratégia por diferenciação apresenta a ideia de que a empresa busque distinguir seus produtos por meio de um atributo ou conjunto de características que sejam importantes para os consumidores, e que proporcione a esta empresa uma posição singular no mercado.

Porter (1989) complementa explicando que essa diferenciação gera um preço-prêmio superior, o que normalmente gera margens maiores nos produtos praticados quando a relação custo da diferenciação e preço-prêmio estão equilibradas, porém o mais importante nesta estratégia é que o consumidor perceba e valorize o diferencial oferecido estando disposto a pagar por ele.

A segunda estratégia genérica é o enfoque, Porter (1986) parte da premissa que a empresa é capaz de atender de forma mais efetiva e eficiente um alvo estratégico estreito do que seus concorrentes que atendem os clientes de forma ampla. Essa abordagem é aplicável a nichos de mercados específicos. A estratégia de enfoque pode ser abordada de duas formas: enfoque no custo e enfoque na diferenciação.

A liderança de custo é uma das estratégias genéricas de mais fácil assimilação. A lógica é que a empresa busque ser a líder de custo no seu segmento, para isso seu processo deve ser o mais eficiente possível, racionalizando recursos e assim se configurando como o produtor de mais baixo custo oferecendo produtos a preços competitivos. Nesta estratégia a empresa dever ser a líder de mercado e tentar empurrar seus concorrentes em liderança de custo para fora dele mercado, pois sustentar essa estratégia em longo prazo poderá ser impraticável.

Partindo dessas estratégias genéricas podemos estabelecer um processo de abstração, questionando se elas são excludentes entre si. A partir desta afirmação, faz-se o questionamento: uma empresa que busque diferenciar sua marca necessariamente precisa optar em não alcançar a liderança de custo do seu setor?

A empresa pode optar em ter uma matriz de baixo custo, e ainda assim, oferecer seus produtos com preços maiores obtendo margens mais significativas. A temática de custo é uma das questões mais pertinentes à estratégia das empresas, e trata-la de forma secundária ao adotar uma estratégia genérica ou mesmo uma estratégia contemporânea pode ser perigoso a saúde financeira da organização.

4. GESTÃO ESTRATÉGICA DE CUSTOS

As estratégias podem ser classificadas em níveis hierárquicos, sendo: corporativo, de negócio e funcional (SLACK et al, 2009). A estratégia hierarquizada dessa forma proporciona um melhor entendimento, já que, a estratégia depende muito da forma que se olha, e em que posição da pirâmide se está posicionado.

Para Slack et al (2009), a estratégia corporativa norteia aonde a empresa quer chegar, a estratégia das unidades de negócio devem estar harmonizadas com esses objetivos macros, e as estratégias funcionais por sua vez tem a missão de tornar real a estratégia de negócio. Segundo Marconi e Silva (2002) deve existir perfeita harmonia entre a estratégia corporativa e a estratégia das unidades de negócios, bem como entre esta e suas estratégias funcionais.

As estratégias corporativas das empresas multinacionais são globais, visto que hoje as empresas operam num mercado sem fronteiras com operações em diferentes países, e comercializando seus produtos através da internet. Há muitos casos de sucesso entre essas empresas globais, a Caterpillar,

segundo Porter (1999), desenvolveu uma estratégia global integrada que proporcionou uma vantagem competitiva em custo e eficácia.

Hansen e Mowen (2003) afirmam que há elementos estratégicos imprescindíveis ao crescimento e posicionamento de uma empresa. A tomada de decisão estratégica significa escolher uma estratégia alternativa visando selecionar aquela ou aquelas que irão proporcionar garantia de crescimento e sobrevivência no longo prazo para a empresa.

O mercado está cada dia mais acirrado, na indústria essa realidade é percebida diariamente, as organizações lutam para conquistar fatias maiores do mercado ou manter seu posicionamento. A estratégia adotada pela empresa dependerá muito do ambiente em que ela está inserida. A gestão estratégica de custos entra em cena com o papel de fortalecer a posição estratégica escolhida pela organização (QUESADO e RODRIGUES, 2007). Hansen e Mowen (2003) definem gestão estratégica de custos como o uso de informação de custos para identificar e desenvolver estratégias que proporcionem vantagem competitiva sustentável.

Uma empresa que tenha como estratégia corporativa oferecer os produtos de mais baixos custos do mercado, deverá buscar uma vantagem competitiva através de um sistema de custeio que permita a racionalização na utilização de recursos para obter os menores custos, e assim alavancar a margem de lucro da empresa, e ainda apoiar os processos de planejamento e tomada de decisão.

Nesta seara a gestão estratégica de custos é fundamental, visto que segundo Slack et al (2009) seja qual for a estratégia, de preço ou outra, um dos objetivos é o custo, isso porque, quanto menor o seu custo, melhor será sua rentabilidade, e para as empresas que concorrem em preço, maior será a possibilidade de atrair mais consumidores interessados em preços mais baixos. Assim uma empresa que adote a estratégia de buscar vantagem competitiva através da diferenciação dos seus produtos, deve equilibrar o binômio diferencial oferecido e preço praticado (PORTER, 1986).

A empresa que oferece os preços mais altos, não necessariamente será aquela que produz com custos maiores. Ela poderá adotar a estratégia de se diferenciar dos demais, oferecendo um produto de qualidade superior, sem ter custos mais altos do setor, e ainda praticar preços com margens maiores, obtendo um rápido retorno sobre seus investimentos.

Para Quesado e Rodrigues (2007), a gestão estratégica de custos apoia qualquer estratégia adotada pela organização, seu objetivo é desenvolver uma gestão dos custos mais efetiva e rigorosa, permitindo analisar os processos em que há agregação de valor, bem como a cadeia de produção como um todo. Utiliza-se da informação sobre custos direcionada a uma ou mais das quatro fases da gestão estratégica: formulação de estratégias; comunicação de estratégias através da organização; desenvolvimento e implementação de táticas para a implementação da estratégia e desenvolvimento e implementação de controles para obter sucesso na consecução dos objetivos estratégicos.

Segundo Grundy apud Quesado e Rodrigues (2007) essa gestão consiste em gerenciar os custos a fim de apoiar a direção financeira e obter vantagens competitivas a longo e em curto prazo. Essa visão deve relacionar explicitamente a gestão do custo com a estratégia empresarial e com o contexto competitivo em que se cria valor para o cliente.

Partindo dessa premissa entendemos a importância dos assuntos relacionados à custos na estratégia definida pela empresa. Segundo Hansen e Mowen (2001) apud Quesado e Rodrigues (2007), gestão de custos é se utilizar da informação sobre custos na identificação e desenvolvimento da estratégia organizacional e na obtenção de vantagens competitivas sustentáveis.

5. CONCLUSÃO

O processo de formulação da estratégia demanda tempo e dedicação, podemos perceber que a percepção de estratégia pode ser ampla e diversa, definir qual delas adotar, pode ser tornar um caminho longo de tentativas e erros, até chegar aos acertos.

O processo de abstração da estratégia não é feito em questão de horas, e para obter os resultados esperados é preciso estar alinhado com todos os aspectos empresariais. Neste processo de análise deverão ser considerados os aspectos internos à organização, suas forças e fraquezas, bem como os fatores externos a mesma, ameaças e oportunidades.

A vantagem competitiva da organização é condição fundamental para seu sucesso, esta só se concretiza se percebida pelos clientes. Esta validação ocorre através do valor atribuído pelos mesmos, seja para produtos e/ou serviços oferecidos pela empresa. O resultado disso evidencia seu posicionamento no mercado.

O foco na estratégia competitiva mais alinhada aos objetivos corporativos facilitará a execução das estratégias funcionais e operacionais. Cada organização adota a estratégia que acredita proporcionar o melhor resultado, e esse resultado se traduz através de margens altas e retorno sobre investimentos mais acelerados.

Ao discutir sobre o retorno de um investimento, a questão de custos perpassa pelos seus administradores, e hoje esse ponto não está mais vinculado com a simples quantificação dos custos dos produtos ou de suas operações fabris. É preciso ampliar o campo de análise de fatores que influenciam no desempenho organizacional como: fornecedores, clientes, concorrentes atuais e futuros, dentre outras variáveis externas a organização que até então eram ignorados pela gestão de custos que se mantinha voltada completamente as questões intraorganizacionais.

A gestão estratégica de custos surge então como um apoiador das estratégias corporativas, de negócios e funcionais, ela está apta a apoiar o processo de formulação das estratégias empresarias, percebendo os aspectos internos da organização e do ambiente onde ela está inserida. Esta gestão facilita a adaptação das organizações às constantes mudanças exigidas pelo mercado, e proporciona a busca pela melhoria contínua dos seus processos, no sentido de reduzir custos e inovar em produtos ou serviços.

Neste momento então, a liderança em custo não é importante apenas nas empresas que concorrem apenas em preço, mas nas organizações que buscam sustentar uma vantagem competitiva através da manutenção de uma matriz de custos enxuta que vise racionalizar recursos para obtenção do êxito empresarial.

Em um ambiente marcado por acirrada disputa de mercado é necessário que as discussões sobre o tema sejam aprofundadas através de outras modalidades de pesquisas. Sugere-se para estudos futuros: pesquisas de campo, estudos de caso, pesquisa-ação, dentre outros, que possam vir a enriquecer o assunto, e validar os conceitos aqui explorados.

REFERÊNCIAS BILIOGRÁFICA

ALMEIDA, F. C.; MACHADO NETO, A. J.; GIRALDI, J. M. E. Estrutura e Estratégia: evolução de paradigmas. Revista de Gestão USP, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 15-26, abril/junho 2006.

BEUREN, I. M.; ERFURTH, A. E. Pesquisa em contabilidade gerencial com base no futuro, realizada no Brasil. Contabilidade, Gestão e Governança, Brasília, v. 13, n. 1, p. 44-58, jan/abr 2010.

BETHLEM, A. S. Estratégia Empresarial: conceitos, processos e administração estratégica. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

DRUCKER, P. Desafios Gerenciais para o Século XXI. São Paulo: Pioneira, 1999.

FAHEY, L; RANDALL, R. M. Gestão Estratégica: o desafio empresarial mais importante da atualidade. MBA curso prático: estratégia. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

GIL, A. C. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

HANSEN, D. R.; MOWEN, M. M. Gestão de Custos: contabilidade e controle. 3. ed. São Paulo: Pioneira, 2003.

MARCONI, E. E. A.; SILVA, F. A. C. Da estratégia competitiva à estratégia de manufatura: uma abordagem teórica, READ, n. 26, ed. 8, vol. 2, mar/abr 2002.

MINTZBERG, H.; AHLSTRAND, B.; LAMPEL, J. Safári de estratégia: um roteiro pela selva do planejamento estratégico. Porto Alegre: Bookman, 2000.

MINTZBERG, H.; LAMPEL, J.; QUINN, J. B.; GHOSHAL, S. O processo da estratégia: conceitos, contextos e casos selecionados. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

PORTER, M. E. Estratégia competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência. Rio de Janeiro: Campus, 1986.

_____. Vantagem Competitiva: criando e sustentando um desempenho superior. Rio de Janeiro: Campus, 1989.

_____. Competição: estratégias competitivas essenciais. Rio de Janeiro: Elsevier, 1999.

QUESADO, P. R.; RODRIGUES, L. L. A gestão estratégica de custos em grandes empresas portuguesas. Revista Iberoamericacana de Contabilidad de Gestion, 2007. Disponível em <http://www.observatorio-beroamericano.org/>. Acesso em: 29 mai. 2011.

SLACK, N., ET AL. Administração da produção. 3. ed. Editora Atlas S.A., 2009.

PROPOSTA DE EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO DE STRESS TÉRMICO

T. F. C. S. Silva[1] e R. S. Silva[2]
Instituto Federal de Alagoas

RESUMO

A crescente preocupação com a segurança no trabalho vem sendo um dos princípios das grandes empresas. No ambiente de trabalho, os trabalhadores poderão estar expostos a vários riscos, dentre eles o calor, que pode gerar graves conseqüências, quando a exposição for prolongada e medidas de controle não forem tomadas. O calor, por estar presente em diversas atividades profissionais, pode ocorrer em várias situações. Com o avanço da tecnologia, observou-se que uma alternativa para avaliação da insalubridade de um ambiente seria a união do Lm 35 controlado por um Arduino, basicamente, um termômetro eletrônico que acoplado com algumas características poderá calcular o IBUTG (Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo), levando em consideração vários fatores. Este artigo demonstra a proposta de um novo equipamento de medição e os critérios de avaliação do risco físico calor. Uma alternativa de fácil acesso e que possa propiciar um controle permanente de toda jornada de trabalho. A partir da análise dos resultados, constata-se que a proposta vai além de pura idéia e com a prática das outras etapas este equipamento poderá avaliar a insalubridade ou não de um ambiente

Palavras-chave: calor, LM 35, Arduino, segurança

1. INTRODUÇÃO

O conceito de higiene e segurança do trabalho pode ser entendido, como um conjunto de estudos e técnicas de doenças e acidentes do trabalho, mas outro aspecto pode ser incluído, como o aumento de produtividade, já que um ambiente saudável para o trabalhador reflete diretamente em seu desempenho, desde uma maior produção até a eliminação de desperdícios.

No ambiente de trabalho, conforme a Portaria n°. 25 (29/12/1994) vários riscos ocupacionais podem estar presentes, dentre eles os riscos físicos, os quais são diversas formas de energia, como: Ruído, Vibrações, Radiações ionizantes e não-ionizantes, Frio, Pressões anormais, Umidade e Calor. Este último merece destaque por estar frequentemente em uma série de atividades profissionais.

A ideia de um novo equipamento se deu, principalmente, pela necessidade do desenvolvimento de alternativas de fácil acesso e que propiciasse um controle permanente de toda jornada de trabalho no que diz respeito ao risco físico calor. Para isso pensou-se no LM 35, sendo controlado por um Arduino.

O principal objetivo deste artigo é propor um equipamento de medição de stress térmico, que possa avaliar o ambiente e caracterizá-lo quando acima dos limites de tolerância como insalubre, acarretando fadiga, desidratação, erros de percepção e raciocínio o que poderá ocasionar acidentes.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para entender melhor a proposta do equipamento é necessário observar alguns conceitos inerentes à área de segurança do trabalho e dos componentes do equipamento.

2.1 Risco Físico Calor

O calor, por estar presente em diversas atividades profissionais, pode ocorrer em várias circunstâncias. Segundo estudos, alguns fatores incidem na quantificação deste risco: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar, calor radiante, tipo de atividade exercida pelo trabalhador.

Tendo em vista a Portaria n°. 3214, de 08 de Junho de 1978, a qual publicou o conjunto de normas regulamentadoras, em especial a de n°. 15, que trata de Atividades e Operações Insalubres, em seu anexo n°. 03, estabelece limites de tolerância bem como a forma de avaliação e esclarece que a exposição ao calor deve ser avaliada através do IBUTG (Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo), onde três temperaturas, temperatura de bulbo úmido natural (tbn), temperatura de bulbo seco (tbs), temperatura de globo (tg), são levadas em consideração. As medições devem ser realizadas no ambiente em que permanece o trabalhador e ainda estabelece as situações de avaliação de acordo com o ambiente de trabalho e descanso.

2.2 Sensor de temperatura LM 35

Fabricado pela national semicondutor o LM35, (ver figura 1), comparado aos outros sensores de temperatura se diferencia por já apresentar a temperatura na escala graus Celsius. Algumas características foram observadas para chegar à proposta de um novo equipamento com este componente, tais como: quando alimentado por uma tensão de 4-20V dc e GND, apresenta uma saída de tensão linear referente à temperatura em que ele se encontra, possui em sua saída um sinal de 10mV para cada grau Celsius de temperatura, dispensa qualquer calibração externa, fornecendo com exatidão valores de temperatura com variação de ¾ºC dentro da faixa de temperatura de – 55ºC a 150ºC, possui um alto aquecimento de aproximadamente 0,1ºC ao ar livre, drenando 60µA para essas alimentações.

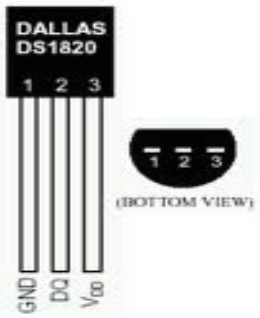


Figura 1 – LM 35

2.3 Arduino

Dentre as propostas de controlador eletrônico utilizamos o Arduino uno (ver figura 2), uma plataforma física de computação de código aberto baseado numa simples placa microcontroladora com linguagem de programação, que é uma implementação do wiring, uma plataforma computacional física baseada num ambiente de programação Prosessing, pode perceber quando recebe uma variedade de sensores afetando seus arredores por luzes de controle, motores e outros atuadores. Os projetos Arduino podem ser stand-alone ou podem comunicar-se com software rodando em um computador.

As placas pode ser construídas à mão ou compradas pré montadas, o software pode ser baixado de forma gratuita no site do Arduino (http:// www.arduino.cc).

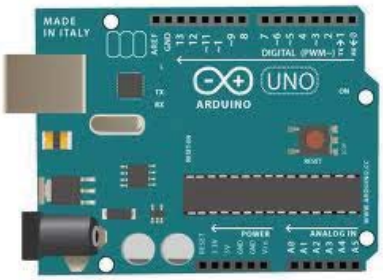


Figura 2 – Arduino uno

3. METODOLOGIA

Foram realizados testes para a determinação da temperatura no Laboratório de Robótica do Instituto Federal de Alagoas, Campus Palmeira dos Índios. Inicialmente, utilizou-se uma prontboard para fazer a ligação dos componentes como pode ser visto na figura 3.

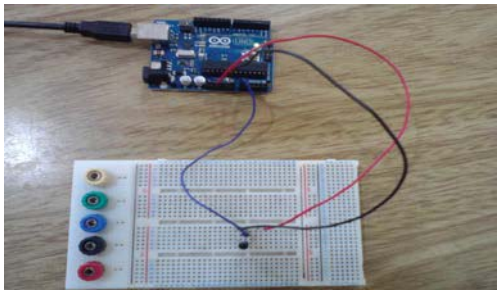


Figura 3. Ligação dos componentes

O código foi feito no software arduno.exe que um dos mais utilizados e de fácil acesso para a programação com controladores eletrônicos do tipo Arduino.

4. DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos foram satisfatórios apresentando a temperatura em Graus Celsius e também nas escalas Fahrenheit e Kelvin (ver figura 4).

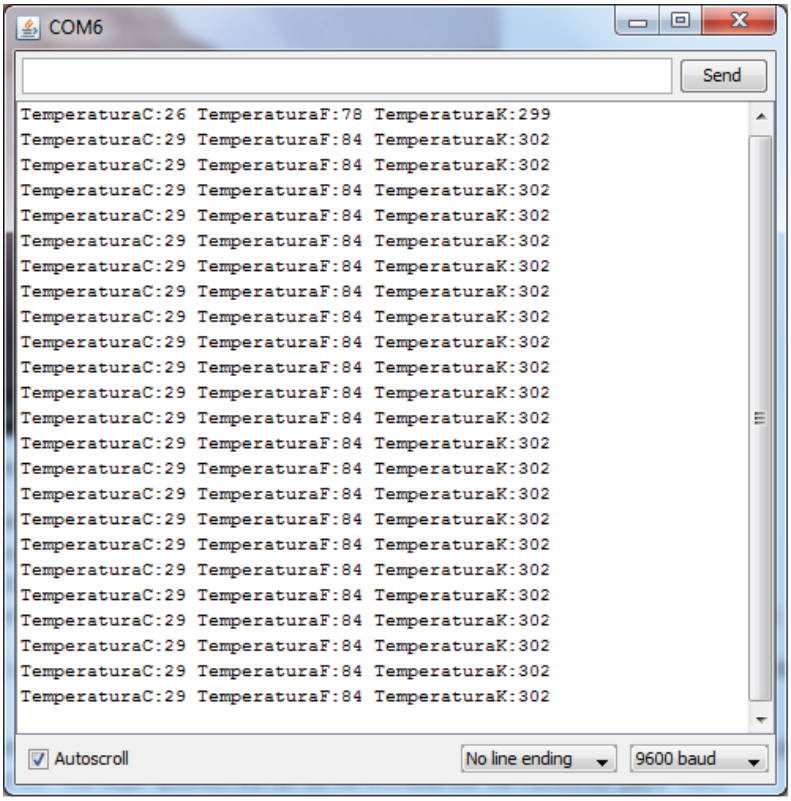


Figura 4 – Resultados das temperaturas no Programa Arduino.exe

A pesquisa apresenta uma vasta série de etapas que ainda deverão ser realizadas, como a implementação seguindo a indicação da NHO - 06 (Norma de Higiene Ocupacional) que descreve procedimentos técnicos para avaliação de exposição ocupacional ao calor. Segundo esta norma, em seu item 5.2.2, é permitido o uso de equipamentos eletrônicos pra a determinação do IBUTG, ressaltando que para a temperatura de globo, a esfera deve ser de cobre, oca, de aproximadamente 1 mm de espessura e com diâmetro de 152,4 mm, pintada externamente de preto fosco com emissividade mínima de 0,95. Já para a temperatura de bulbo úmido natural o dispositivo deve possuir um pavio de

forma tubular, de tecido com alto poder de absorção de água como por exemplo o algodão, na cor branca, mantido úmido com água destilada.

Os dados seriam apresentados em um visor lcd, qual por meio a linguagem de programação apresentaria o IBUTG já calculado.

Sem dúvidas esta etapa foi extremamente importante, para a definição de novas implementações e para uma maior definição da aplicabilidade desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

BARBOSA FILHO, A. N. **Segurança do Trabalho & Gestão ambiental.** 2. ed. São Paulo; Atlas, 2009.

CARDELLA, B. **Segurança no Trabalho e prevenção de acidentes: uma abordagem Holística: segurança integrada à missão organizacional com produtividade, qualidade, preservação ambiental e desenvolvimento de pessoas.** 1. ed. São Paulo; Atlas, 2009

PEREIRA, F. **Microcontroladores PIC: Programação C.** 7. ed. São Paulo; Érica, 2007.

CRESPI, R.; CERON, T. A. **Sensor de Temperatura LM 35.** Disponível em: <http://hermes.ucs.br/ccet/demc/vjbrusam/inst/temp51.pdf> Acesso em: 10 agosto 2009

Engenharia Mecânica

ANALISADOR DE FREQUÊNCIAS PARA ANÁLISE DE ESTABILIDADE TRANSVERSAL DE EMBARCAÇÕES AMAZÔNICAS

Carlos R. P. dos Santos Junior e Dr. Flávio José Aguiar Soares
IFAM – CMDI
carlos_rpdsj@hotmail.com – acadaf@gmail.com

RESUMO

A perda da estabilidade transversal é uma das principais causas de tombamentos de embarcações. Uma das situações que provocam essa instabilidade é a condição em que a frequência de oscilação transversal da embarcação entra em ressonância com a sua frequência natural. Na região amazônica, as embarcações possuem um papel fundamental no transporte de cargas e passageiros. Apesar da importância, infelizmente, anualmente ocorrem diversos acidentes com essas embarcações. Essa situação motiva pesquisas que visam a melhora das condições de segurança desse meio de transporte tão importante para a região. Esse artigo apresenta o desenvolvimento de um analisador de frequências para avaliar a frequência de oscilação transversal da embarcação e verificar se tal frequência encontra-se em ressonância com a sua frequência natural. Caso a oscilação aproxime-se da situação de ressonância, um alarme visual alertará o condutor para que o mesmo reconduza a embarcação de volta à condição de estabilidade. A análise das frequências é composta basicamente por duas etapas: a medição dos sinais gerados pela oscilação transversal da embarcação e a aquisição e tratamento destes sinais. Para a medição e aquisição dos sinais foram utilizados respectivamente um inclinômetro e uma placa de aquisição. Simulações e ensaios foram realizados para a verificação da funcionalidade do analisador.

Palavras-chave: estabilidade transversal de embarcações, analisador de frequências, embarcações amazônicas

1. INTRODUÇÃO

Na região amazônica, as embarcações possuem um papel importante no transporte de cargas e passageiros, pois, a região possui uma malha rodoviária de baixo porte devido ao custo de construção e manutenção de rodovias. Na região, ocorrem anualmente diversos acidentes com essas embarcações, como abalroamentos, tombamentos, incêndios etc., que são responsáveis por causarem vítimas fatais e perdas materiais. A figura 1 mostra um típico perfil de embarcação amazônica e a figura 2 uma embarcação regional, que sofreu um tombamento.

Figura 1 - Típica Embarcação Amazônica

Figura 2 - Tombamento de uma Embarcação Amazônica

Uma das principais causas destes acidentes é a perda da estabilidade transversal. Segundo Clayton e Bishop (1982), a estabilidade transversal corresponde à capacidade da embarcação de atenuar as oscilações transversais as quais está sendo submetida por operar em ambiente dinâmico, sendo que se os limites de estabilidade transversal são ultrapassados, ocorre o tombamento da embarcação. Uma das situações que provocam essa instabilidade, segundo Saimolescu e Radu (2002), é quando a embarcação passa a oscilar próxima ou em sua freqüência de ressonância.

Visando o aumento da segurança das embarcações amazônicas, esse artigo apresenta o desenvolvimento de um analisador de frequências para avaliar a frequência de oscilação transversal da embarcação e verificar se tal frequência encontra-se em ressonância com a sua frequência natural. Caso a oscilação aproxime-se da situação de ressonância, um alarme visual alertará o condutor para que o mesmo reconduza a embarcação de volta à condição de estabilidade.

A análise das frequências será composta basicamente por duas etapas: a medição dos sinais gerados pela oscilação transversal da embarcação e a aquisição e tratamento destes sinais. Para a medição e aquisição dos sinais serão utilizados respectivamente o inclinômetro AccuStar® Eletronic Clinometer e a placa de aquisição NI USB - 6008. O desenvolvimento do sistema do analisador de frequências, será realizado no LabVIEW.

Na literatura da Engenharia Naval, podem ser encontrados diversos trabalhos relacionados. Um exemplo é o artigo de Santos Neves, Perez e Lorca (2002), onde os autores descrevem uma investigação sobre a relevância da ressonância paramétrica em típicas embarcações pesqueiras de alto mar.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estabilidade e Instabilidade em Embarcações

Para a realização de estudos do comportamento de embarcações, alguns dos conceitos fundamentais utilizados são os de estabilidade e instabilidade. De modo geral, segundo Biran (2003), a estabilidade é definida como a propriedade de um corpo em equilíbrio de retornar a sua posição inicial, quando perturbado dessa posição.

A instabilidade pode ser definida, segundo Tupper (1996), como a característica de um corpo que após sofrer uma perturbação, não retorna a sua posição inicial. Nas embarcações, segundo Clayton e Bishop (1982), é a característica que representa a embarcação fora do equilíbrio, ou seja, oscilando de forma não controlada. Ela pode ser causada por forças externas como o vento, ondas e correntes fluviais.

2.2 Ressonância

Segundo Laarhoven (2009), em sistemas mecânicos, a ressonância é um fenômeno que ocorre quando a frequência natural do sistema for igual à frequência da força externa que lhe é aplicada. Pode ser definida também como o aumento crescente das oscilações quando o sistema excitado em sua frequência natural. Os conceitos de ressonância são fundamentais para o estudo da estabilidade de embarcações, pois, segundo Saimolescu e Radu (2002), uma das situações que provocam a instabilidade das mesmas, é a condição em que a frequência de oscilação transversal da embarcação entra em ressonância com sua frequência natural.

Quando uma embarcação entra em ressonância pela oscilação transversal, não significa necessariamente que a embarcação irá sofrer tombamento e, portanto não existe um tempo definido para que isso ocorra. Essa condição é definida como de menor estabilidade, pois é a condição em que a embarcação passa a oscilar em sua máxima inclinação transversal.

Nas embarcações, a condição de ressonância pode ser alcançada em função de forças com comportamento periódico, externas ou internas que, excitem a embarcação, como a ação das ondas que se chocam periodicamente com o casco ou ainda o vento sobre a sua estrutura.

Para se afastar da condição de ressonância, o condutor da embarcação pode alterar a resposta dinâmica variando a direção ou a velocidade de deslocamento do barco, o que corresponde à alteração da frequência de excitação do sistema.

2.3 Sensores de Inclinação

Segundo a Metrolog, sensores de inclinação ou inclinômetros, como são chamados, são dispositivos utilizados para a medição de ângulos e/ou chaves acionadas por inclinação. Seu princípio de funcionamento é baseado na medição de seu deslocamento angular em relação ao campo gravitacional. São sensores/transdutores, portanto, seu sinal de saída é elétrico, que pode estar na forma de tensão, corrente ou PWM. Os sinais gerados são proporcionais ao seu ângulo de inclinação. São aplicados comumente em proteção de guindastes, alinhamento de rodas, nivelamento de embarcações e inspeção de equipamentos de usinagem.

2.4 Sistemas de Aquisição de Dados

Segundo Figliola e Beasley (2007), pode-se dizer que para a realização de medições de grandezas mecânicas, térmicas, elétricas etc., é necessário a utilização de algum dispositivo que realize a leitura dos sinais produzidos por essas grandezas. Os autores definem sistemas de aquisição de dados como

uma parte de um sistema de medição que quantifica e armazena dados. Os principais componentes que compõem um sistema de aquisição são: os filtros, amplificadores, multiplexadores, conversores A/D e D/A, microprocessador e memórias. A figura 3 ilustra as operações básicas realizadas por um sistema de aquisição de dados.

Figura 3 - Diagrama em Blocos Simplificado de um Sistema de Aquisição

2.5 LabVIEW

Segundo a National Instruments, o LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), é um ambiente de programação que utiliza uma linguagem de programação chamada G. Ela possui diretivas da linguagem PASCAL e C, porém, ao invés da programação em linguagem de códigos, utiliza-se uma linguagem gráfica, mais precisamente, diagramas de blocos. Aos sistemas desenvolvidos no LabVIEW, dá-se o nome de VI (*Virtual Instrument*). O VI é composto pelo conjunto de instruções responsáveis pela manipulação dos dados ou ainda o controle de equipamentos através do computador. Todo VI possui basicamente duas partes que o compõem: a janela do diagrama de blocos e a janela do painel frontal. A janela do diagrama de blocos é a parte da VI onde é construído o código do programa. Enquanto a janela do painel frontal é a interface com o usuário, ela apresenta a forma visual de todos os controles, gráficos e indicadores, simulando o painel físico de um instrumento.

3. METODOLOGIA

O desenvolvimento do sistema, passou por diversas etapas, entre elas estão a e escolha dos equipamentos, a elaboração do algoritmo solução para o analisador e a implementação do algoritmo no LabVIEW, que possui nativamente todas as ferramentas necessárias para o desenvolvimento desse sistema, inclusive um bloco responsável pela aplicação da Transformada Rápida de Fourier, mais conhecida como FFT (Fast Fourier Transform), que segundo Figliola e Beasley (2007), é um artifício matemático utilizado para a conversão de sinais no domínio do tempo para o domínio da frequência.

Após o desenvolvimento e montagem do sistema, foram realizadas simulações para comprovação do funcionamento do analisador. E por fim, ensaios com um barco protótipo com um típico perfil das embarcações amazônicas, construído em escala reduzida de 1:25 e com frequência natural conhecida de 0,91Hz, calculada de acordo com o procedimento teórico e metodológico apresentado no artigo de Guimarães, Soares e Vidal (2010).

3.1 Escolha dos Equipamentos

Os equipamentos utilizados para o desenvolvimento do analisador foram basicamente três: os inclinômetro, a placa de aquisição e o computador.

O inclinômetro é o responsável pela medição da oscilação transversal da embarcação. Ele realiza a leitura da inclinação e envia as informações do sinal lido em forma de níveis de tensão para a placa de aquisição. Para esse projeto foi escolhido o modelo AccuStar® Eletronic Clinometer, ver figura 4. Segundo a Metrolog, as características deste inclinômetro são: monoaxial, campo de medição +/- 60º, linear até +/- 45º, resolução de 0,001º, alimentação de 5 a 15Vdc, saída digital e analógica e reposta de frequência de 0,5Hz. Foi escolhido este modelo pela sua facilidade de instalação e maior resposta de frequência em relação aos outros inclinômetros com características semelhantes.

Figura 4 - Inclinômetro AccuStar® Eletronic Clinometer

A placa de aquisição é o dispositivo que realiza a aquisição dos sinais lidos pelo inclinômetro. Para o projeto foi escolhida a placa de aquisição NI USB – 6008, ver figura 5. Segundo a National Instruments, essa placa de aquisição realiza comunicação via USB, possui oito entradas analógicas, conversor A/D de 12 bits e, além disso, a capacidade de realizar até dez mil amostras por segundo. Foi escolhido este modelo de placa de aquisição pela sua precisão e velocidade na conversão dos sinais, e vale ressaltar que não necessita de alimentação externa, utiliza a tensão da porta USB do computador.

Figura 5 – Placa de Aquisição NI USB – 6008

O computador é a parte do sistema responsável pelo controle dos equipamentos do sistema, além de servir como plataforma para o funcionamento do LabVIEW. Foi utilizado para o desenvolvimento do analisador um notebook Gateway EC14 Series com o sistema operacional Windows 7.

3.2 O Algoritmo

Foi elaborado um algoritmo para facilitar o entendimento da lógica e auxiliar na criação do programa no LabVIEW. A figura 6 mostra um fluxograma que apresenta de forma simplificada o algoritmo.

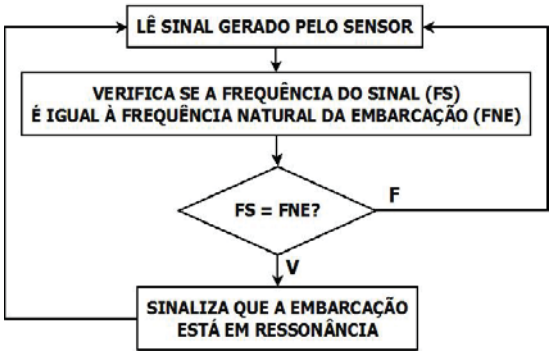


Figura 6 – Fluxograma do Algoritmo do Analisador de Frequências

3.3 O Programa em LabVIEW

As figuras 7 e 8, mostram as janelas do programa do analisador de frequências desenvolvido no LabVIEW.

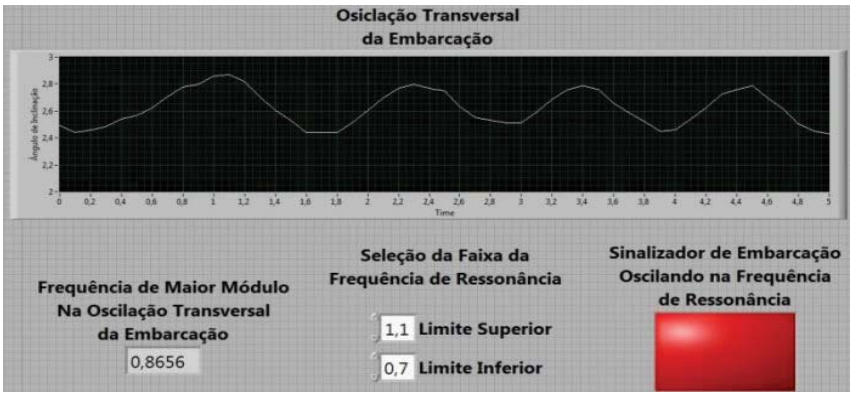


Figura 7 – Painel Frontal do Analisador de Frequências (LabVIEW)

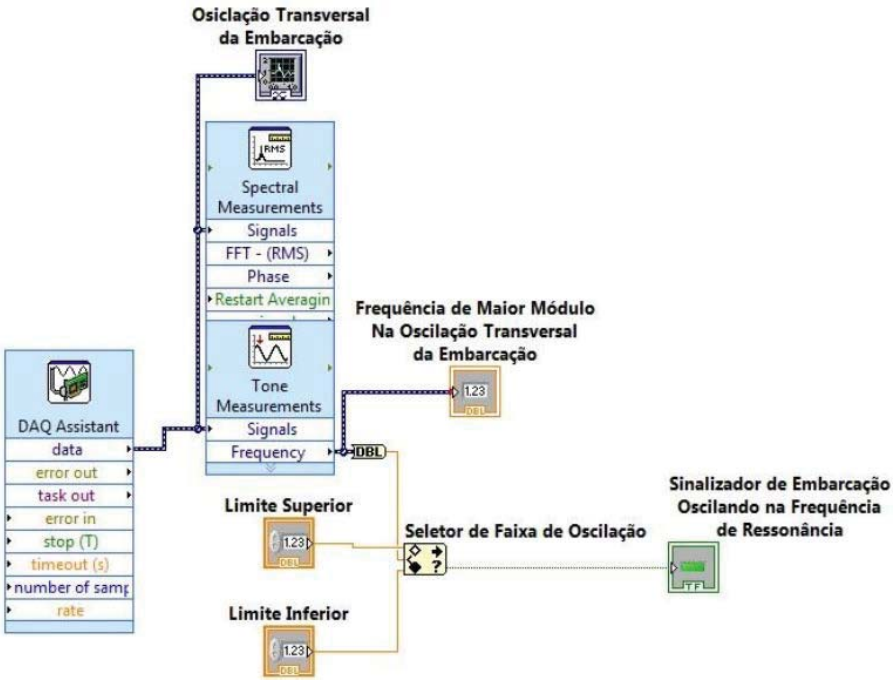


Figura 8 – Diagrama de Blocos do Analisador de Frequências (LabVIEW)

3.4 Simulações e Ensaios

Para a verificação da real funcionalidade do sistema desenvolvido, foram realizados ensaios e simulações. As simulações foram efetuadas no próprio LabVIEW, onde foi realizada uma pequena alteração no programa que proporcionou a simulação do sinal de oscilação da embarcação através de um bloco gerador de sinais presente no LabVIEW. Esse bloco gerador de sinais substituiu o bloco responsável pelo controle da placa de aquisição. A figura 9 ilustra o diagrama de blocos do programa utilizado na simulação.

Na simulação, um sinal era gerado pelo bloco simulador e variado através do botão simulador de freqüências, presente no painel frontal do programa. Este sinal era verificado pelos outros blocos, na

qual apresentavam a forma de onda do sinal e também o seu espectro de frequência. Além disso, o programa avaliava se a frequência do sinal, que representava a oscilação do barco, estava dentro da faixa de ressonância com a frequência natural da embarcação. Estando o sinal na faixa de ressonância, um sinal visual vermelho sinalizava que a embarcação estava oscilando próxima a sua frequência de ressonância. A figura 10 mostra o painel frontal do sistema utilizado na simulação.

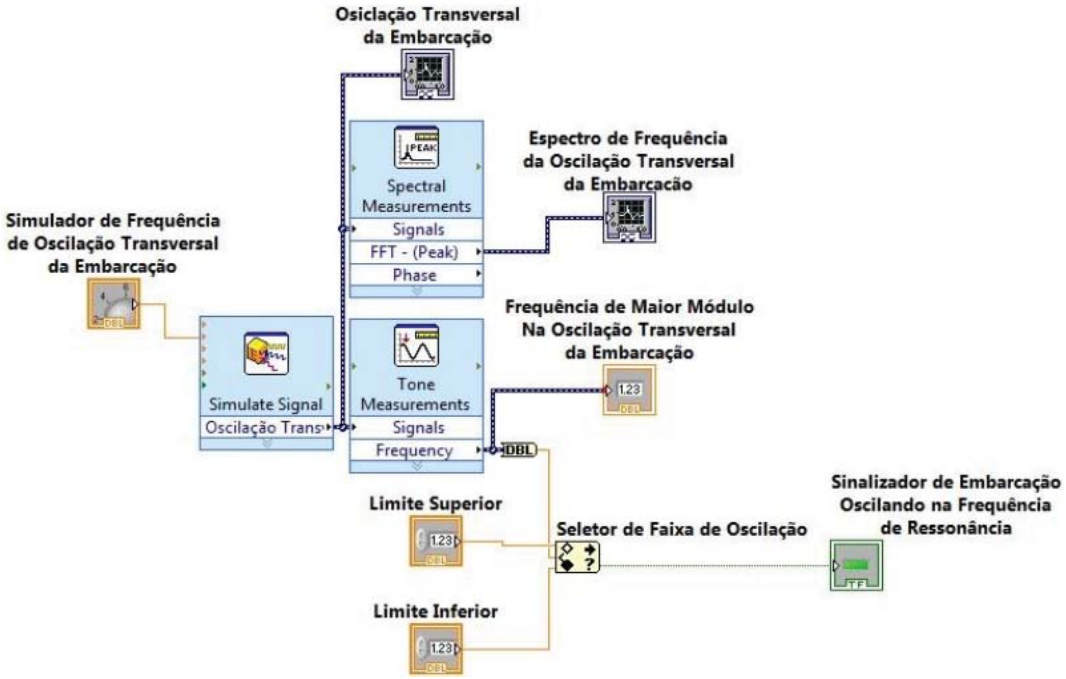


Figura 9 – Diagrama de Blocos do Programa Utilizado para Simulação (LabVIEW)

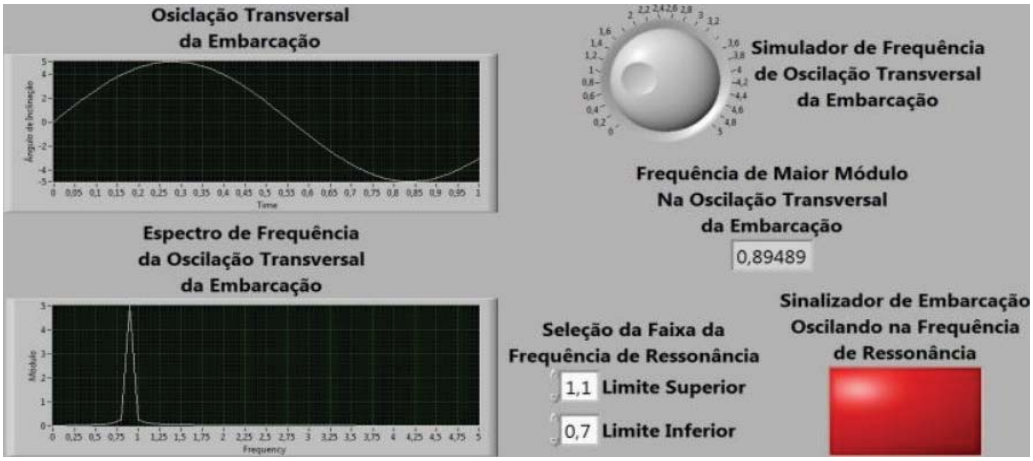


Figura 10 – Painel Frontal do Programa Utilizado para Simulação (LabVIEW)

Além da simulação para verificação da funcionalidade do analisador, foram realizados ensaios com um protótipo de uma embarcação regional, construído em escala reduzida com um perfil típico das embarcações amazônicas. Sabendo-se que a frequência natural do protótipo é de 0,9Hz, o programa foi ajustado para sinalizar frequências que ressonassem na faixa de 0,7 a 1,1Hz. No ensaio, inicialmente, foi fixado o sensor de inclinação no interior do barco modelo. Em seguida iniciaram-se os ensaios, onde a embarcação era manualmente induzida a oscilar transversalmente para gerar o sinal de oscilação transversal a ser analisador pelo sistema analisador, ver figura 11.

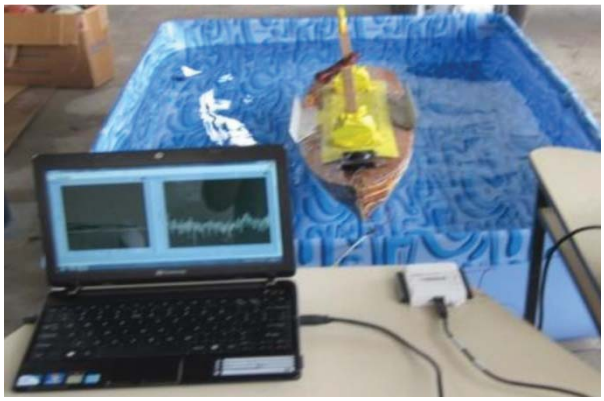


Figura 11 – Ensaio do Analisador de Frequências com um Protótipo de uma Embarcação Amazônica

4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

4.1 Análise das Simulações

Os resultados obtidos com as simulações realizadas no LabVIEW mostraram que o analisador de frequências para análise de estabilidade transversal de embarcações amazônicas é um sistema funcional. A partir dos gráficos, e sinalizações gerados pela simulação podemos comprovar que o sistema responde correta e continuamente às variações de frequência realizando a sinalização quando a frequência de oscilação transversal entra na faixa de ressonância escolhida. A figura 12 mostra o gráfico que representa a oscilação transversal da embarcação. A figura 13 mostra o espectro de frequência da oscilação transversal da embarcação. A figura 14 mostra os parâmetros utilizados neste trecho da simulação, como a faixa de ressonância, o ajuste da frequência e o indicador sinalizando que a embarcação encontra-se na faixa de ressonância.

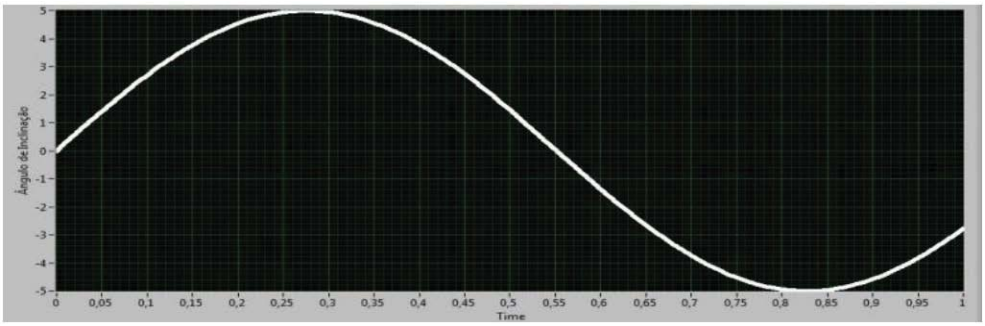


Figura 12 – Curva de Oscilação Transversal (Simulação)

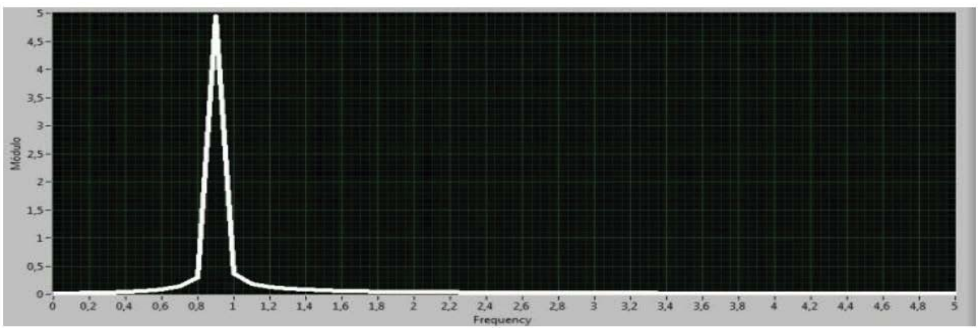


Figura 13 – Espectro de Frequência da Oscilação (Simulação)

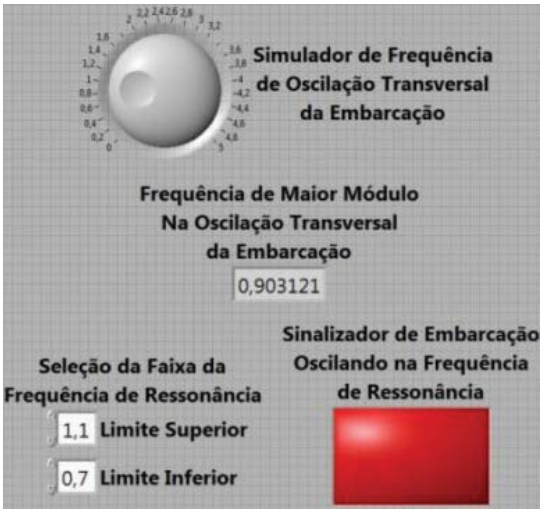


Figura 14 – Parâmetros Utilizados na Simulação e Indicador de Embarcação em Ressonância

4.2 Análise dos Ensaios

Os resultados obtidos com os ensaios assim como os resultados da simulação mostraram que o sistema é funcional, visto que foi possível obter as curvas reais de oscilação da embarcação e identificar a condição de ressonância. A figura 15 mostra a janela do programa que apresenta o gráfico da curva de oscilação da embarcação, o valor da frequência de maior amplitude e a sinalização da condição de ressonância.

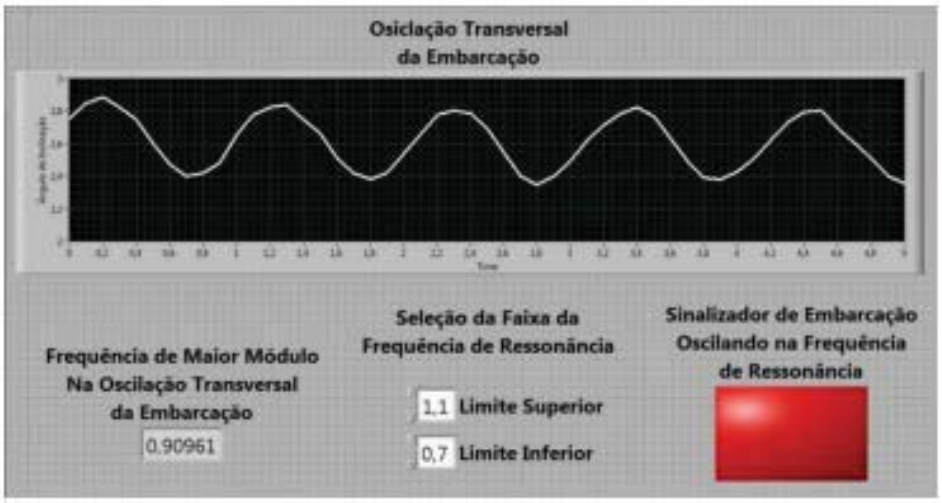


Figura 15 – Janela do Programa Obtida com o Ensaio

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou estudos parciais referentes ao desenvolvimento de um dispositivo analisador de frequências para análise de estabilidade transversal de embarcações amazônicas que visa o aumento da segurança das embarcações dessa região. Esse dispositivo analisa os sinais de oscilação gerados pela embarcação e caso a frequência dessa oscilação esteja em ressonância com sua frequência natural, um alerta visual é enviado ao condutor para que o mesmo reconduza a embarcação para a condição de estabilidade.

A simulação mostrou que o sistema é funcional, conseguindo identificar corretamente quando o sinal de oscilação simulado entra na faixa de ressonância, alertando o condutor através do indicador. Com os ensaios, a pesar da funcionalidade, percebeu-se que o sensor era lento, pois, o sinal era obtido com um pequeno atraso. Uma proposta para a solução desse problema encontrado é a utilização de sensores de inclinação com uma maior resposta de frequência, como por exemplo, um acelerômetro. Além disso, seria ideal também a utilização de filtros de banda, uma vez que a frequência de ressonância é conhecida.

No sistema atual é possível conhecer o comportamento dinâmico da embarcação. Isso ocorre com um atraso proporcional à leitura de dados e ao tempo de cálculo da FFT. Versões posteriores devem ser capazes de identificar o comportamento dinâmico da embarcação se aproximando ou se afastando da faixa de ressonância em tempo real. Para estudos seguintes, sugere-se transformar esse analisador em um sistema embarcado microcontrolado baseado na tecnologia de microcontroladores dsPIC da Microchip, para que o sistema atue de forma independente.

6. AGRADECIMENTOS

À FAPEAM pela concessão da bolsa, que viabilizou este trabalho, ao CNPq pelo financiamento dos equipamentos utilizados, que permitiram a realização desta pesquisa e à diretoria do IFAM – CMDI pelo apoio institucional.

REFERÊNCIAS

BIRAN, A. B. **Ship Hidrostatics and Stability**. Oxford: Elsevier Ltd., 2003.

CLAYTON, B. R.; BISHOP, R. E. D. **Mechanics of Marine Vehicles**. Bristol: J. W. Arrowsmith Ltd., 1982.

FIGLIOLA, R. S.; Beasley, D.E. **Teoria e Projeto para Medições Mecânicas**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2007.

GUIMARÃES, L.; SOARES, F.; VIDAL, W. **Estudo de Estabilidade Transversal em Embarcações Amazônicas**. In: CONNEPI, V, Maceió, 2010.

LAARHOVEN, B. J. H. **Stability Analisys of Parametric Roll Resonance**. Eindhoven University Technology, Department Mechanical Engineering. Eindhoven, 2009.

METROLOG CONTROLES DE MEDIÇÃO. **Inclinômetros**. Disponível em:<http://www.metrolog.net/transdutores/inclino.php?lang=ptbr>. Acesso em 21 ago. 2011.

NATIONAL INSTRUMENTS CORPORATION. **LabVIEW™ - Básico I – Manual do Curso de Introdução**. 2007.

SAIMOLESCU, G.; RADU, S. **Stabilisers and Stabiling Systems on Ships**. In: Constantin Brâcusi University, Engineering Faculty, International Conference, 8th, Târgu Jiu, 2002.

SANTOS NEVES, M. A.; PÉREZ, N.; LORCA, O. **Analysis of Roll Motion Stability of a Fishing Vessel in Head Seas**. Ocean Engineering. 2002.

TUPPER, E. C. **Introduction to Naval Architecture**. 4th ed. Oxford: Elsevier Ltd., 2004.

ANÁLISE DE UM SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO POR ADSORÇÃO TENDO COMO FONTE DE ENERGIA A RADIAÇÃO SOLAR

Carlos Erlan Olival Lima[1] e Francisco das Chagas Batista Santos[2]
[1]Instituto Federal do Piauí - Campus Teresina Central e [2]Instituto Federal do Piauí – Campus Teresina Central
erlanolival@gmail.com – fcbs@bol.com.br

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo a análise de um sistema de climatização por adsorção, sendo que o par adsortivo será zeólita – água, e a fonte de energia utilizada para aquecer o adsorvente, que neste caso é a zeólita será a radiação solar. Este sistema será utilizado para fornecer ar condicionado para o laboratório de pesquisa em Engenharia Elétrica do IFPI. A potência do sistema será de 9638 W, e o período de cada ciclo será de 1 h 57 min. Este sistema terá um coeficiente operacional de 0,38 quando estiver operando em condições extremas, mas mesmo assim será garantido ao ambiente uma temperatura de 25 °C com uma umidade de 55%. Quanto ao desempenho da adsorção, este foi caracterizado para as pressões de saturação do adsorvente na temperatura de 10, 20 e 30 °C, sendo que a máxima capacidade de adsorção foi obtida quando a temperatura de evaporação for de 10 °C e a de saturação também for de 10 °C, sendo que para estes valores, quando a temperatura de regeneração do adsorvente for de 300 °C, se terá uma capacidade de estocagem de energia de 633,472 kJ por kg da zeólita. A parte mais importante do projeto é o dimensionamento do adsorvedor, o qual envolve doze variáveis, dentre elas temos: a duração do ciclo, as temperaturas das fontes, a espessura de material adsorvente, características dos tubos e aletas, o par adsortivo e o metal utilizado na construção do trocador de calor. A obtenção de todos os valores concernentes a este projeto foram obtidos por meio de análises matemáticas nos softwares MATHLAB e EES (Engineering Equation Solver).

Palavras – chave: adsorção, zeólita, energia solar.

1. INTRODUÇÃO

Um sistema de refrigeração é uma máquina de transferência de calor, que capta o calor interno dos ambientes e o põe para fora. Isto se consegue por meio da constante evaporação e condensação de um fluído refrigerante. Para que se processe a evaporação, a troca do estado líquido para o gasoso é preciso calor, que é absorvido de uma fonte térmica. A troca oposta, a condensação, expulsa o calor, que é liberado do fluído refrigerante para o exterior (LAUAND, 2000).

A refrigeração por adsorção utiliza um ciclo térmico que se vale da capacidade de alguns sólidos adsorverem (fixarem moléculas de outras substâncias em sua superfície) vapores de um dado refrigerante em determinadas condições de temperatura e pressão. Nos sistemas de refrigeração por adsorção, este sólido é denominado adsorvente. O fluído refrigerante que deverá trabalhar alternadamente nos estados de vapor e líquido é denominado adsorvato ou simplesmente refrigerante.

O sistema apresentado utiliza o princípio de estocagem de energia, sendo que há dois tipos principais de sistemas de resfriamento, o primeiro estoca calor sensível, neste caso a temperatura do material responsável por armazenar a energia irá variar com a quantidade de energia armazenada. O outro tipo armazena calor latente, portanto ele faz uso da energia armazenada quando a substância muda de uma fase para outra. Os dois sistemas mencionados operam a baixas temperaturas, sendo que as temperaturas de armazenamento de energia do tanque são menores que a temperatura ambiente, isso acaba acarretando perda de energia durante o processo de estocagem, fazendo com que estes sistemas tenham bastante desvantagem quando se deseja armazenar energia por um longo período (LU, Y. Z. et al, 2003).

O princípio de trabalho da adsorção envolve processos de reversão físico-química, onde há o armazenamento de energia via adsorção. Neste caso a capacidade de resfriamento pode ser armazenada por grandes períodos sem nenhuma perda de energia e sem nenhuma poluição. Este processo pode ser utilizado por sistemas de resfriamento que necessitem de uma elevada potência, sendo que a fonte geradora de energia pode ser um motor de exaustão ou um coletor solar (LU, Y. Z. et al, 2003).

Neste trabalho será apresentado o dimensionamento do protótipo baseado no princípio da reversão físico-química. Este sistema irá utilizar o par zeólita - água, sendo a zeólita o adsorvente e a água o adsorvato. O sistema tem como objetivo a climatização de ambientes utilizando uma energia completamente renovável e não poluente, a qual será obtida através da irradiação solar, a qual será absorvida pelo coletor solar e será utilizada para fornecer calor ao reator para que se consiga a dessorção (liberação das moléculas) do adsorvato a partir do aumento da temperatura do adsorvente.

2.OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho consiste em definir os parâmetros experimentais de uma unidade de sistema de climatização por adsorção utilizando como fonte de energia a irradiação solar, implementando uma técnica alternativa de climatização de ambientes com energia completamente renovável e não poluente.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Análise Termodinâmica Básica do Armazenamento de Energia por Adsorção

A capacidade de armazenamento de energia deste sistema deve ser indicada pela diferença entre a capacidade de adsorção durante o armazenamento do frio e o período de descarga. O equilíbrio da capacidade de adsorção (a massa de refrigerante adsorvida por unidade de massa de adsorvente) normalmente pode ser expresso pela equação de Dubinin – Astakhov, que é demonstrada abaixo:

$$x=x_o \exp\left[-K\left(T/T_s-1\right)^n\right] \qquad \text{[Eq. 01]}$$

Onde T é a temperatura do adsorvente, T_s é a temperatura de saturação correspondente a pressão da câmara p, x_o é a capacidade de adsorção máxima e K e n são constantes características da adsorção, que tem alguma relação com o material adsorvente.

O princípio geral de um ciclo de armazenamento de energia por adsorção é mostrado no diagrama de Clapeyron mostrado na figura 1. O processo de operação do sistema consiste principalmente de três períodos: geração (A-B-C), armazenamento do frio (C-E) e descarga do frio (E-A). Um ciclo de refrigeração normal também é mostrado no sistema (A-B-C-D-A).

Durante o período de geração, a câmara adsorvente é aquecida com uma rica capacidade de adsorção, x_2, até que a pressão nela seja igual à pressão de condensação, p_{cond}. Conseqüentemente, o vapor refrigerante é retirado do reator e condensado no condensador. Depois do período de geração a câmara é resfriada por uma baixa capacidade de adsorção, x_3, e a temperatura da câmara de adsorção diminui da temperatura de geração, T_g para a temperatura ambiente, T_o, durante o período de armazenamento do frio. O processo de evaporação se inicia quando há necessidade de descarregar o frio. O refrigerante irá entrar na câmara do adsorvente com a pressão de vapor saturado igual à pressão de evaporação. Então, a temperatura da câmara deve aumentar devido ao calor latente de adsorção, até que seja alcançada a temperatura de adsorção, T_a.

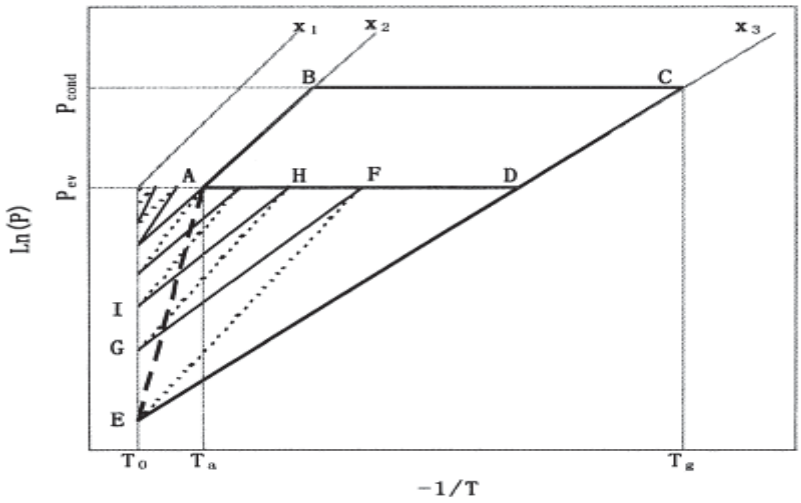


Figura 1 - Diagrama de Clapeyron, Lu, Y.Z. et al. (2003)

Segundo Lu, Y.Z. et al. (2003), a capacidade ideal de armazenamento de energia de um sistema de armazenamento do frio por adsorção pode ser definido como o potencial máximo da capacidade de adsorção provocada pela evaporação do refrigerante, o que é fornecido pela equação abaixo:

$$q_{arm}=(x_1-x_3)h_{fg} \qquad \text{[Eq. 02]}$$

Onde q_{arm} é a capacidade de armazenamento de energia por unidade de massa do adsorvente, h_{fg} é o calor latente de evaporação do refrigerante, e x_1 é a capacidade de adsorção no fim da descarga do frio, quando $T_a=T_o$.

A temperatura da câmara no fim do período de descarga do frio é normalmente maior que a temperatura ambiente, pois a capacidade teórica da refrigeração de saída, q_{saida}, é menor que q_{arm}.

$$q_{saida}=(x_2-x_3)h_{fg} \qquad \text{[Eq. 03]}$$

Então a razão da descarga de saída é descrita da seguinte forma:

$$COP=q_{saida}/q_{arm} \qquad \text{[Eq. 04]}$$

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Descrição do Funcionamento do Aparelho

A esquematização do projeto é mostrada na figura 2, sendo que todas as análises dos parâmetros experimentais foram feitas a partir de ferramentas matemáticas, através dos softwares MATHLAB e EES (Engineering Equation Solver). A partir da figura 2 podemos constatar que o processo inicia-se com a descarga de energia, o que ocorre quando a válvula **V1** entre o adsorvedor e o evaporador é aberta, o que acontece apenas quando a temperatura da câmara é bastante baixa. Por causa da adsorção do vapor de água pela zeólita, a temperatura da câmara aumenta rapidamente, e a temperatura do evaporador diminui. Conseqüentemente, a bomba que circula a água resfriada entre o evaporador e o fan - coil é ativada quando a temperatura do evaporador chegar a um determinado valor. Primeiramente, a água fria é enviada a serpentina de desumidificação, onde troca calor com o ar externo, depois é enviado ao fan, onde ele troca calor com o ar interno, assim consegue-se o resfriamento da sala. Durante o período de geração, a câmara adsorvente é aquecida pelo calor absorvido pelo coletor através da radiação solar. Durante o período de geração a válvula **V2** que liga a câmara adsorvente ao condensador é mantida fechada até que seja alcançada a pressão de condensação, então a válvula é aberta e o vapor refrigerante é dessorvido e condensado no condensador. No instante em que a válvula **V2** é aberta, a válvula **V1** é fechada e então abre-se a válvula **V3** permitindo assim que o processo de resfriamento continue ocorrendo, esta válvula continua aberta até que a pressão no coletor se iguale a pressão de condensação, quando isto ocorre, a válvula **V4** é aberta e a válvula **V3** é fechada, ao mesmo tempo a válvula **V1** é aberta para que ocorra o deslocamento de vapor para o primeiro coletor, o qual terá o material adsorvente regenerado e o vapor adsorvido liquefeito e de volta as condições iniciais após passar pelo condensador e a válvula de expansão **V5**, tudo isso ao mesmo tempo em que ocorre a descarga de energia do outro coletor. O período de armazenamento do frio inicia-se a noite, então a temperatura do adsorvente é diminuída devido à dissipação natural de calor para o ambiente. As válvulas **V1** a **V5** são válvulas esferas manuais acionadas por servos motores, os quais atuarão de acordo com as leituras feitas pelos sensores de vazão e de pressão.

A potência de refrigeração de saída é calculada pela diferença de temperatura entre a parte interna e externa do fan coil multiplicada pela taxa de fluxo:

$$P_{saída} = \dot{m} c_{p,chi} (T_{s,chi} - T_{e,chi}) \quad \text{[Eq. 05]}$$

Onde m_{chi} representa o fluxo de massa, $c_{p,chi}$ é o calor específico a pressão constante, $T_{s,chi}$ é a temperatura de saída da água que passa pela tubulação entre o evaporador e o fan coil e $T_{e,chi}$ é a temperatura de entrada do fluido. Quanto a potência de saída, que é representada por $P_{saída}$ é determinada pela carga térmica do ambiente a ser climatizado.

Então, a capacidade total de refrigeração de saída é dada por:

$$Q_{saída} = \int P_{saída}\, dt \quad \text{[Eq. 06]}$$

Onde dt representa a variação de tempo em segundos.

Similarmente, a energia térmica de entrada é calculada como:

$$Q_{entrada} = \int I_t\, dt \quad \text{[Eq. 07]}$$

Onde I_t representa a quantidade de radiação solar recebida pelo coletor – adsorvedor num determinado intervalo de tempo.

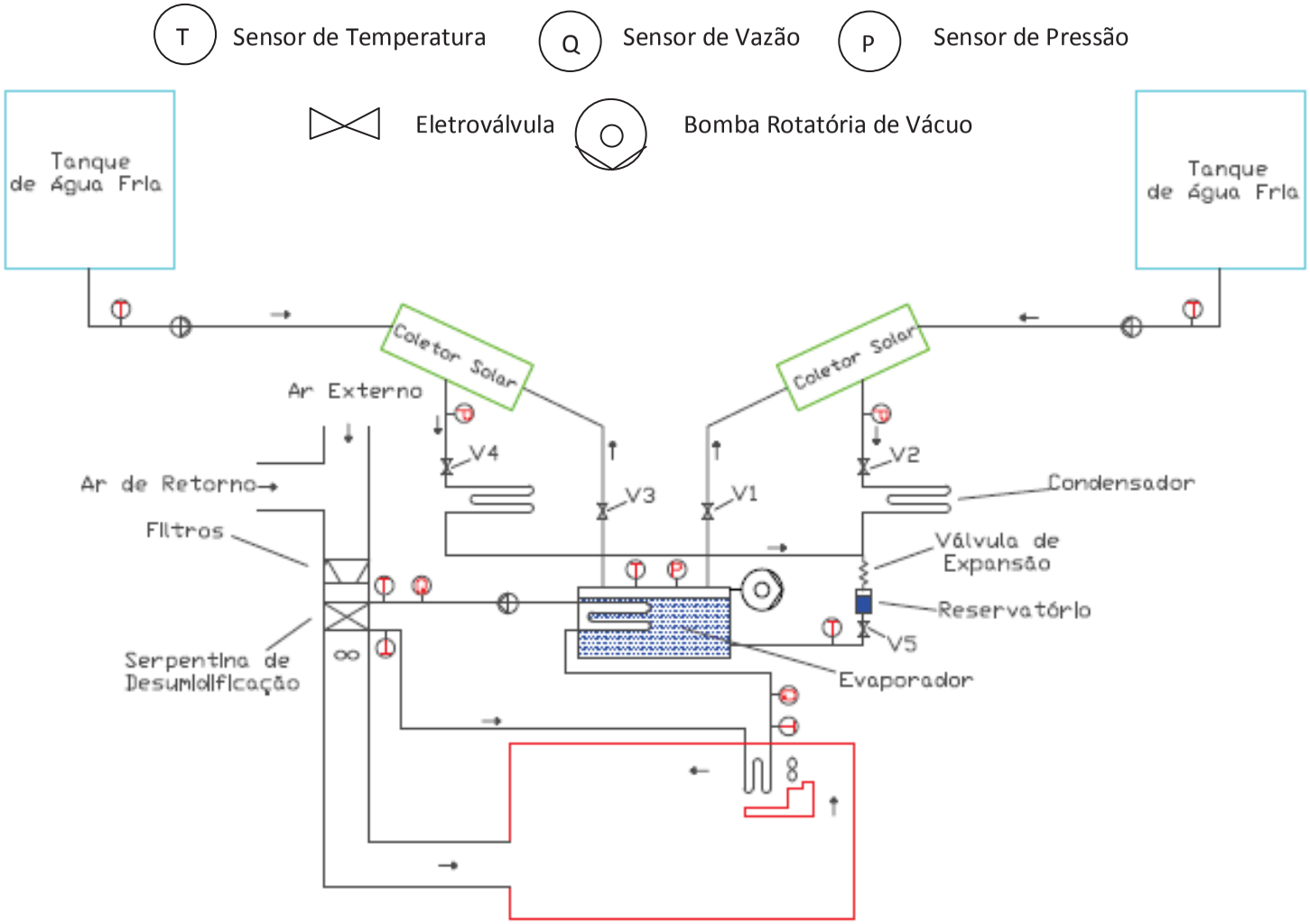


Figura 2 – Esquema Básico do Projeto

Após a determinação da carga térmica do ambiente e da quantidade de radiação solar absorvida pelo coletor – adsorvedor, procede – se a determinação da massa de adsorvente necessária para que o ciclo se realize, o que é determinado a partir da equação de Dubini – Asthakov que segundo LU, Y.Z. et al. (2003) é expressa da seguinte forma:

$$x=0.261\exp(-5.36(T/T_s-1)^{1.73}) \quad \text{[Eq. 08]}$$

onde:

T: Temperatura do adsorvente (K);

T_s: Temperatura de saturação (K);

Para determinar o coeficiente operacional do sistema de resfriamento por adsorção utilizou-se o princípio de uma máquina quadritérmica hipotética, onde esta máquina operaria em dois níveis de temperatura sem conversão em energia mecânica. De acordo com LEITE (2000) o COP de Carnot para uma máquina quadritérmica é dado por:

$$Cop=(1-(T_{con}/T_{reg}))/((T_o/T_{ev})-1) \quad \text{[Eq. 09]}$$

onde:

T_{con}: Temperatura de condensação (°C);

T_o: Temperatura ambiente (°C);

T_{ev}: Temperatura de evaporação (°C);

5. RESULTADOS DA PESQUISA E DISCUSSÃO

5.1 Capacidade de Estocagem de Energia

O comportamento da adsorção da água pela zeólita foi estudada para determinar os fatores que caracterizam a performance da adsorção. A adsorção isobárica do par zeólita - água é apresentada na figura 3, em que as temperaturas de saturação correspondente as pressões de saturação são 10, 20 e 30 °C.

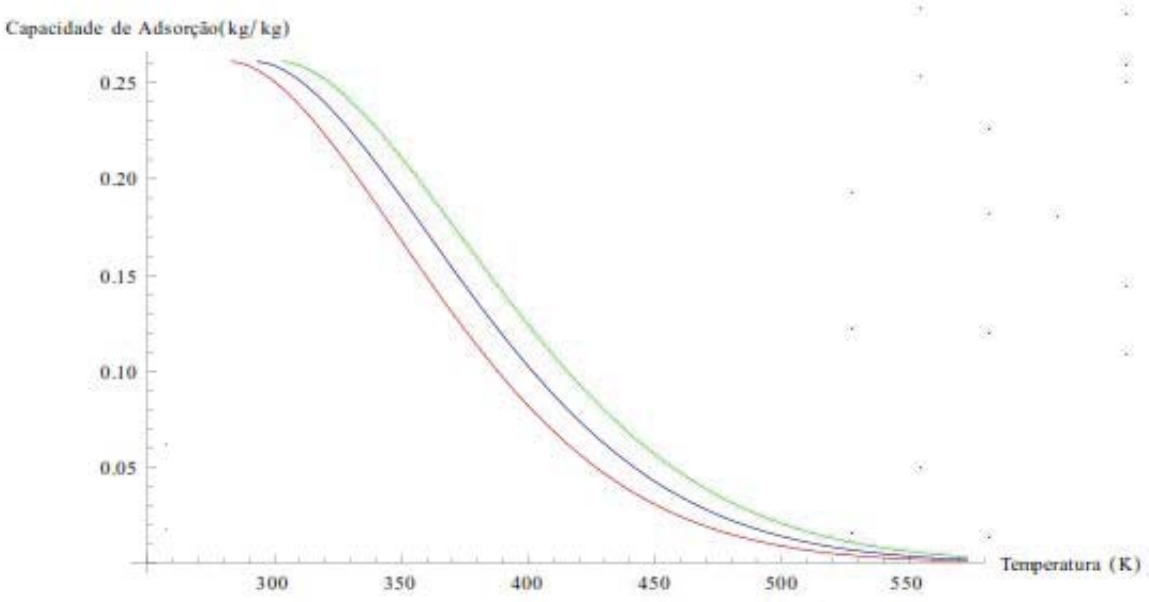


Figura 3 - Capacidade de adsorção isobárica do par zeólita – água

Na figura 3, a linha vermelha corresponde a temperatura de saturação de 10 °C, a linha azul a temperatura de 20 °C e a linha verde a temperatura de 30 °C.

Da equação 08 obtemos que a máxima capacidade de adsorção quando a temperatura de evaporação for 10 °C, a temperatura de saturação for 10 °C e a temperatura de regeneração for de 300 °C, como pode ser observado na figura 4. Estes valores correspondem ao sistema operando nas piores condições.

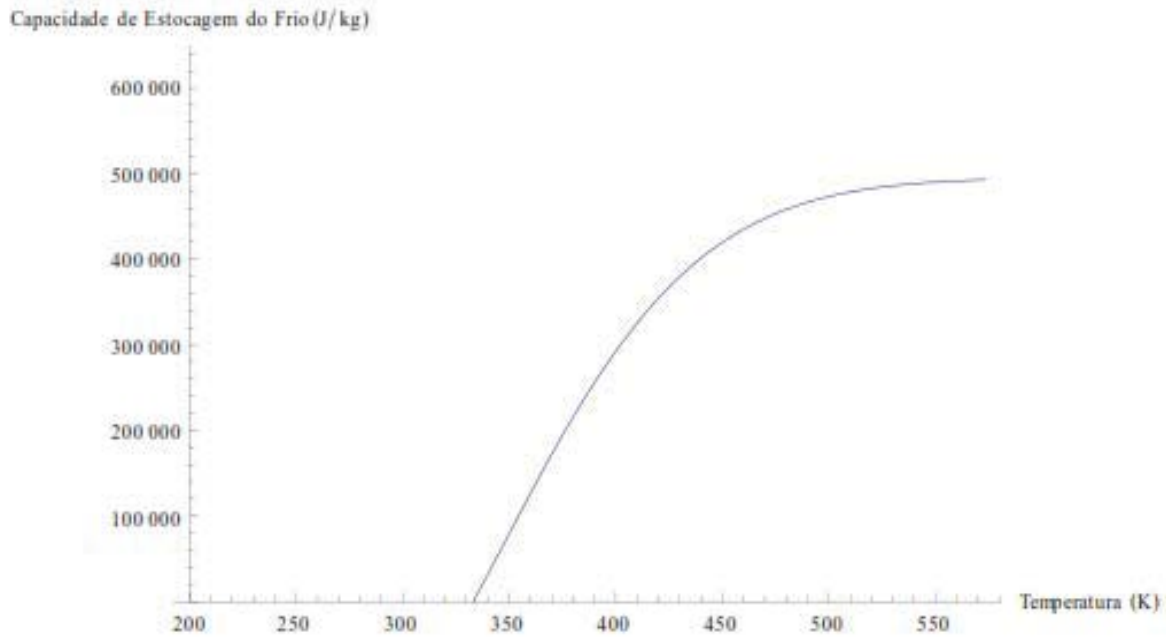


Figura 4 - Efeito da temperatura de regeneração na capacidade de estocagem de energia

A máxima capacidade de adsorção ocorrerá quando a temperatura de evaporação for de 10 °C, a temperatura de condensação for de 50 °C e a temperatura de regeneração for de 300 °C, onde teremos uma capacidade de estocagem de energia de 633,472 kJ para cada Kg da zeólita. A máxima capacidade de adsorção para estes valores é apresenta na figura 5.

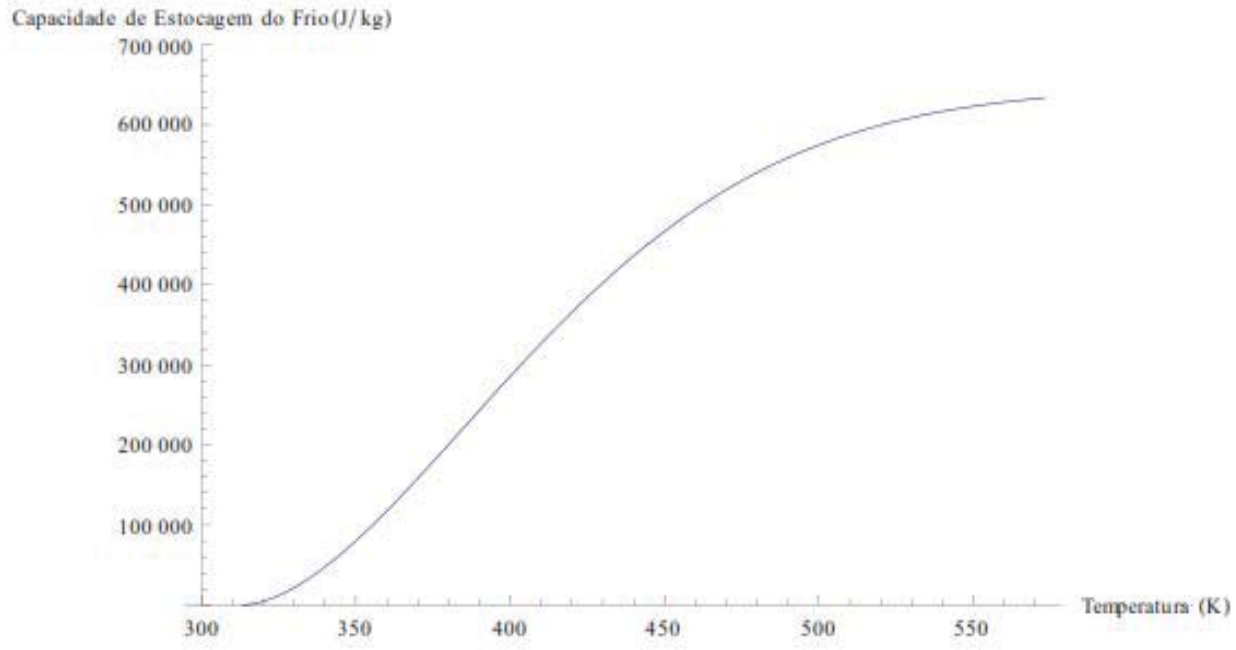


Figura 5 - Capacidade máxima de estocagem de energia

5.2 Coeficiente de Performance

De acordo com a equação 9, se o sistema operasse de conforme o ciclo de Carnot, ele apresentaria o seguinte COP:

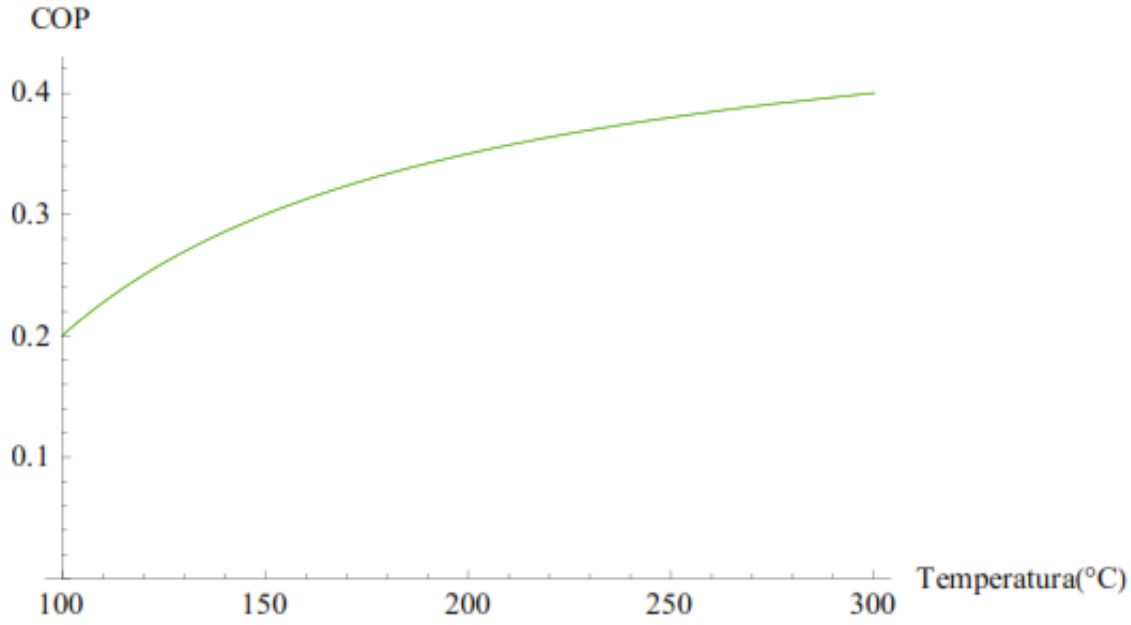


Figura 6 - Gráfico do COP de Carnot em relação a temperatura de regeneração

Para a figura 6 temos que a T_{ev} é igual a 10 °C, a T_{con} equivale a 60 °C e a T_o equivale a 38 °C. Para as mesmas condições anteriores, só que para o sistema operando em temperaturas ambientes diferentes, teremos os seguintes COP:

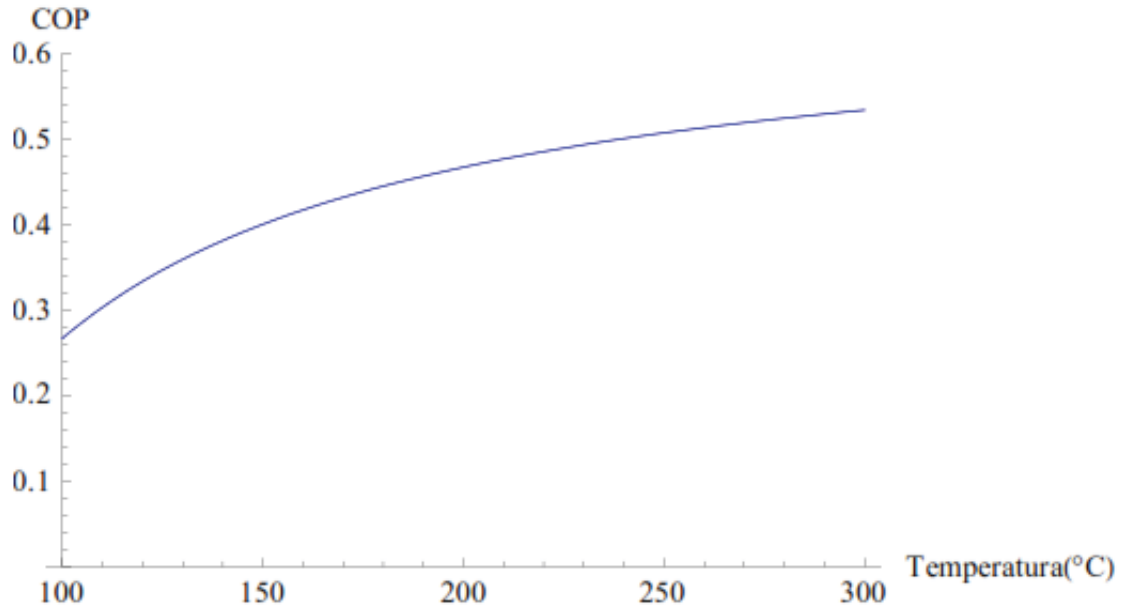


Figura 7 - Gráfico do COP para temperatura ambiente de 25 °C

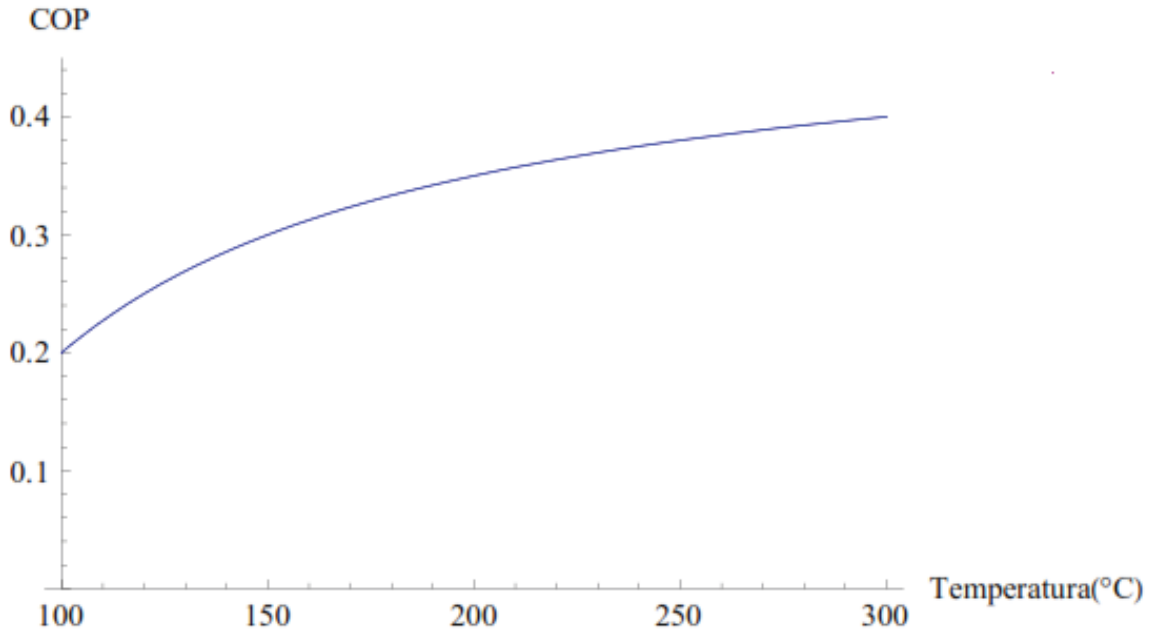


Figura 8 - Gráfico do COP para a temperatura ambiente de 38 °C

Pelos gráficos das figuras 6, 7 e 8, constata-se que quando a temperatura ambiente for de 25 °C teremos o melhor COP, que nas condições estabelecidas para este projeto teria um COP de 0,51 contra um COP de 0,38 quando a temperatura ambiente for de 38 °C.

6. CONCLUSÃO

Pelo que foi analisado neste projeto, percebe-se que este sistema tem uma grande vantagem em relação a outros sistemas de adsorção que utilizam pares adsortivos diferentes, sendo que esta vantagem é a elevada capacidade de estocagem de energia, isto ocorre devido ao fato de ser utilizado o par adsortivo zeólita-água, o qual permite armazenar quantidades de energia maior do que sistemas que utilizam outro

par adsortivo, sendo que o valor dessa energia armazenada pode chegar até 650 KJ/Kg de adsorvente contra 333 KJ/Kg de um sistema de produção de gelo utilizando o par adsortivo carbono ativado-metanol, com a mesma massa de adsorvente.

Com relação ao coeficiente operacional do sistema, cujo valor máximo observado foi de 0,57, apresentou-se no mesmo patamar que os valores encontrados em outros projetos de pesquisa já realizados, só que este sistema irá operar em regime permanente. Este sistema pode ser utilizado futuramente em transportes coletivos, como ônibus e metrôs, além do objetivo inerente neste presente trabalho e, além disso, será de fácil instalação.

REFERÊNCIAS

LAUAND, Carlos A.. Manual prático de geladeira: refrigeração industrial e residencial. 4ed. Curitiba: Hemus, 2000. 245p.

LEITE, A. P. F.; DAGUENET, M. Performance of a new solid adsorption ice maker with solar energy regeneration. *Energy Conversion and Management* [S.I.], v. 41, n. 15, p. 1625-1647, 2000.

LEITE, A. P. F. *et al.*Experimental evaluation of a multi-tubular adsorber operating with activated carbon-methanol. *Adsorption-Journal of the International Adsorption Society* [S.I.], v. 11, p. 543-548, 2005.

LU, Y. Z. *et al.* Adsorption cold storage system with zeolite-water working pair used for locomotive air conditioning. *Energy Conversion and Management* [S.I.], v. 44, n. 10, p. 1733-1743, 2003.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal do Piauí, pelo incentivo através da bolsa fornecida e esperamos que o mesmo fomentasse a continuação da pesquisa, a qual se procederá através da construção do protótipo. Agradecemos também ao professor Hubert pelo incentivo através das práticas de laboratório e ao professor Abimael pela ajuda na resolução das aplicações matemáticas e ao professor Francisco Fernandes pela ajuda na resolução do ciclo termodinâmico.

ANÁLISE E MODELAGEM DO FUNCIONAMENTO DE MÁQUINAS FERRAMENTA CNC EM INTERPOLAÇÃO LINEAR

Anderson Pereira de Sousa SILVA[1], Diego Cruz de Oliveira PAULA[1] e Edson Cavalcanti NETO[1]
[1] Instituto Federal do Ceará - Campus Fortaleza
anderson_pss@hotmail.com.br – diegogoec@gmail.com – edsoncavalcanti@hotmail.com

RESUMO

Este trabalho introduz a modelagem do funcionamento de maquinas ferramentas CNC em interpolação linear por Redes de Petri Coloridas (RPC) como ferramenta para avaliação do comportamento das variáveis envolvidas no processo. O uso da ferramenta (CPN TOOLS) consiste em modelar o processo, simular o modelo em computador, informando a situação dos eixos em cada etapa do processo e, a partir dos resultados obtidos na simulação, avaliar o modelamento, entendendo de forma mais clara, a sistemática e os principais fatores que influenciam o controle dessas máquinas, tais como sinal de entrada, *set* de posição, sinal dos encoders, entre outros.

Palavras-chave: CNC, Redes de Petri Coloridas, CPN tools, controle em malha fechada.

1. INTRODUÇÃO

As máquinas ferramenta CNC (Comando Numérico Computadorizado) são máquinas operatrizes que utilizam um computador para realizar as operações de usinagem. Rápidas e versáteis, elas representam um grande avanço no uso da automação nos processos industriais atuais. São muito precisas e confiáveis, garantindo peças praticamente perfeitas com a mínima intervenção humana no processo de fabricação.

As pesquisas para o desenvolvimento do CNC iniciaram-se durante a Segunda Guerra Mundial, da união de esforços entre o Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) e a *US. Air Force* (Força Aérea Norte Americana). Tal iniciativa partiu da necessidade de produzir peças de precisão e em grandes lotes para os aviões utilizados na guerra (MOREIRA, 2010).

A primeira demonstração prática de uma máquina CNC ocorreu em março de 1952, e o relatório final do novo sistema somente foi publicado em maio de 1953. Desde então elas começaram a se modernizar e ao longo do tempo foram acrescentadas novas soluções e melhorias, como o trocador automático de ferramentas e os equipamentos de controle ponto a ponto.

Atualmente elas podem operar com um número indefinido de eixos, além de trabalhar com recursos gráficos em 3D e com manutenção via internet (CAPELLI, 2008).

O princípio básico do CNC pode ser observado na Figura 1:

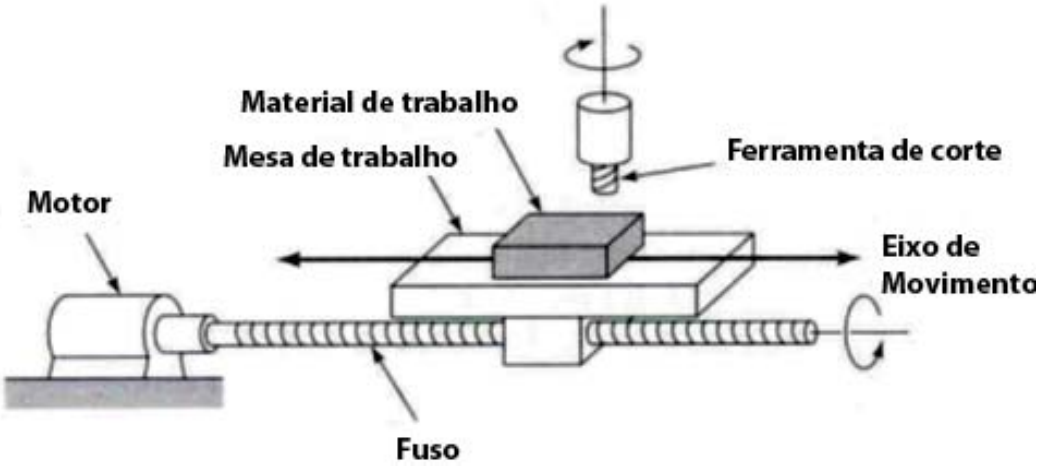


Figura 1: Princípio básico de uma máquina CNC

Fonte: adaptação de Rizvi (2010)

2. COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO

Segundo Capelli (2008), CNC é um computador dedicado ao controle de movimento dos eixos de uma máquina operatriz. De fato, entre as grandes vantagens do uso dessas máquinas está o controle automático de processo de usinagem, isso aliado à possibilidade de alteração do programa a partir da interface homem-máquina.

Outras vantagens garantidas através do uso do comando numérico são as operações de ciclos fixos e o uso de sub-rotinas. Hoje também é comum utilizar-se o CND, Comando Numérico Direto ou Distribuído, que possibilita o controle de um CNC por um computador ou uma unidade central através de uma conexão em tempo real.

O comando numérico é feito utilizando-se o código G, que foi desenvolvido pela EIA no início da década de 1960. Tal código é interpretado pela CPU da máquina e, a partir do módulo I/O (*input/output*), o comando é repassado para os atuadores da máquina.

Através do I/O todos os sensores, relés, contadores e eletroválvulas da máquina são ativados e esses, por sua vez, atuarão sobre os acionadores (NATALE, 2000).

O comando dos servomotores responsáveis pelos movimentos dos eixos da máquina é feito através de inversores de potência que, a partir de um sinal analógico oriundo do CNC (0 a 10 V_{cc}), controla o torque e a velocidade do motor de forma proporcional ao valor do sinal.

A Figura2 mostra o funcionamento automático desse controle:

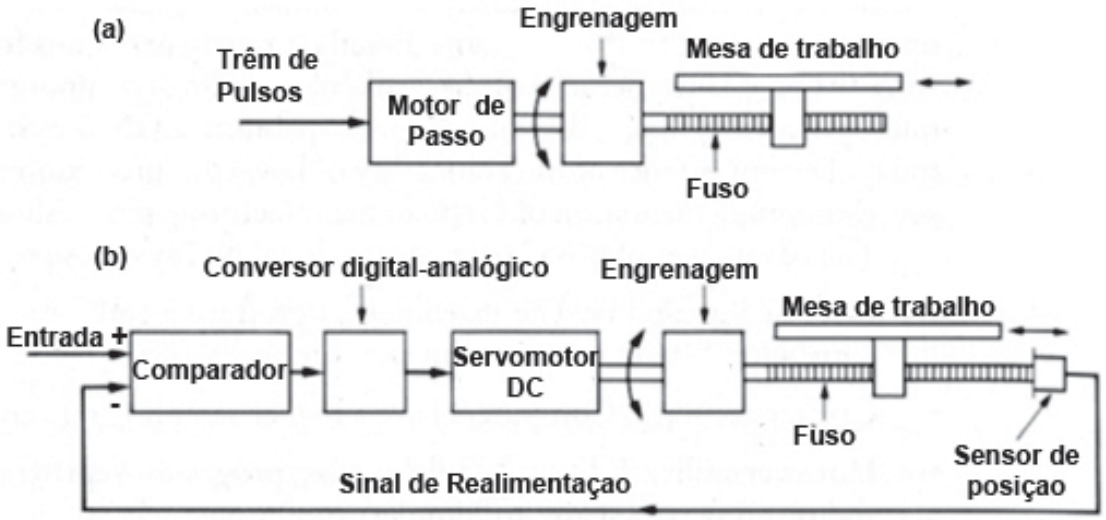


Figura 2: Controle *Open-loop* (a) e *Closed-loop* (b) de uma máquina CNC

Fonte: adaptação de Rizvi (2010)

3. CONTROLE EM MALHA FECHADA (*CLOSED-LOOP*)

Sistemas de controle com retroação, também referidos como sistemas de controle a malha fechada, são sistemas nos quais o sinal atuante de erro, que é a diferença entre o sinal de entrada e o sinal de realimentação, excita o controlador de modo a reduzir o erro e trazer o valor do sinal de saída para o valor desejado.

Uma das vantagens desses sistemas em relação aos sistemas *open-loop* é o fato de que o uso do sinal de realimentação torna a resposta do sistema relativamente insensível a perturbações externas e variações internas de parâmetros do sistema (OGATA, 2003).

Os sistemas de controle em malha fechada são muito poderosos e precisos, pois eles são capazes de monitorar as condições de funcionamento através de subsistemas de realimentação (*feedback*) e automaticamente compensar eventuais variações no tempo real.

O sistema de *feedback* pode ser analógico ou digital. Os sistemas analógicos medem a variação das variáveis físicas, tais como posição e velocidade em termos de níveis de tensão. Os sistemas digitais monitoram as variações de produção, por meio de impulsos elétricos.

A maioria dos modernos sistemas de controle em malha fechada é capaz de fornecer resolução muito perto de 0.0001 de uma polegada. Tais sistemas exigem um maior número de dispositivos e circuitos de

controle, a fim de monitorar tanto a posição, quanto a velocidade de operação. Isso, obviamente, os torna mais complexos e mais caros do que o sistema em malha aberta.

Na Figura 3 observa-se o diagrama básico de um sistema de controle em malha fechada, onde e(t) ou sinal de erro é resultado da diferença entre o sinal de referência e a realimentação, u(t) ou sinal de controle é o sinal enviado pelo controlador para controle do processo e y(t) a saída esperada:

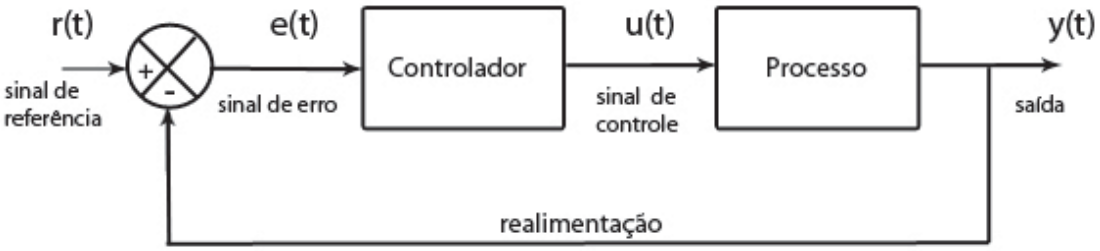


Figura 3: Diagrama básico de um sistema de controle em malha fechada

Fonte: adaptação de Silva (2000)

Para a maioria dos sistemas de leitura digital, responsáveis pelo sinal de realimentação, são utilizados *encoders*. Os *encoders* são transdutores que convertem movimentos angulares ou lineares em pulsos digitais elétricos. Esses pulsos podem ser usados para determinar velocidade, taxa de aceleração, distância, rotação, posição ou direção.

Os *encoders* são usados em sistemas e máquinas que exigem um controle de posicionamento de eixos ou velocidade de rotação dos motores com alta precisão. No caso das máquinas CNC é utilizado o *encoder* incremental, que é acionado mecanicamente pelo acoplamento com o eixo do motor (internamente ou externamente) e de funcionamento optoeletrônico, fornecendo assim informações discretas de deslocamento.

O valor do deslocamento é dado em relação à quantidade de pulsos por revolução, obtido pela relação *1/p*, onde "*p*" representa a quantidade de pulsos por revolução. No CNC, a partir da movimentação do encoder, conta-se o número de pulsos gerados e, através desse número, o algoritmo do software calcula em que posição o eixo se encontra (CAPELLI, 2008).

4. REDES DE PETRI

De acordo com Moraes (2007), redes de Petri foi um método de estudo de sistemas dinâmicos, criado por Carl A. Petri, em uma tese de doutoramento dedicada à comunicação entre autômatos. Dentre as qualidades que podemos citar desse método estão a captura das relações de precedência e os vínculos estruturais dos sistemas reais, modelam conflitos e filas, tem funcionamento matemático e prático e admitem várias especializações (RP temporizadas, coloridas, estocásticas, etc.).

Após os trabalhos de Holt e Commoner, a definição das redes ficou praticamente padronizada, podendo ser descrita por meio de conjuntos, funções e também por grafos.

Uma rede de Petri é composta por lugares e transições, que são ligados por arcos direcionados. Os lugares podem conter fichas (*tokens*), que podem mudar de lugar a partir do disparo de uma posição (AALST, 2009).

Uma RP é representada graficamente na Figura4, onde p_1, p_2 e p_3 são lugares ou eventos, t_1, t_2 e $t_3$transições e *k* corresponde ao número de fichas.

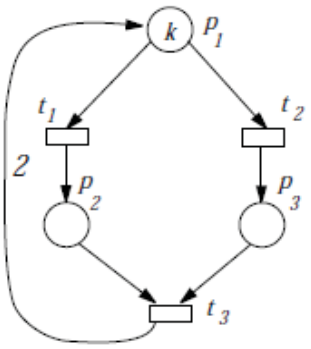


Figura 4: Exemplo de rede de Petri

5. MODELAGEM EM REDE DE PETRI COLORIDA (CPN TOOLS)

Para simular o funcionamento de uma máquina CNC e dessa forma observar os estados que envolvem os processos do funcionamento de tais máquinas utiliza-se, nesse trabalho, o *software* CPN Tools, disponível no endereço eletrônico (http://www.cpntools.org).

As redes de Petri coloridas possibilitam utilizar variáveis de diversos tipos (cores). Essas variáveis funcionam como fichas e podem influenciar funções, determinando limites e sequências lógicas que melhor representem o funcionamento da rede modelada.

Para modelar uma máquina CNC de três eixos foram utilizadas as variáveis, cores e funções das tabelas 01 e 02. O funcionamento de cada eixo é modelado individualmente, mas de forma análoga entre si. Portanto, as variáveis e funções para cada eixo são similares, diferenciando-se apenas para determinar o eixo que as englobam.

Tabela 01: Variáveis e cores utilizadas na modelagem

Variáveis	Eixo X	Eixo Y	Eixo Z	Cor
Posição	posicao_x	posicao_y	posicao_z	INT
Pulsos do encoder	pulso_x	pulso_y	pulso_z	INT
Quantidade de Pulsos	cont_pulso_x	cont_pulso_y	cont_pulso_z	INT
Distância do Percurso	dist_x	dist_y	dist_z	INT
Sentido Horário dos Servos	hor_x	hor_y	hor_z	STRING
Sentido Anti-Horário dos Servos	a_hor_x	a_hor_y	a_hor_z	STRING
Desligar Servos	des_x	des_y	des_z	STRING
Atividade na Máquina	maquinax	maquinay	maquinaz	STRING

Tabela 02: Funções utilizadas na modelagem

Funções Eixo X	
Atualizar Posição	fun atu_x(dist_x,posicao_x)=if(dist_x>0) then(posicao_x+1) else if(dist_x<0) then(posicao_x-1) else (posicao_x);
Comparação	funcomp_x(entrada,posicao_x)= entrada-posicao_x;
Definir Ação	fun acao_x(hor_x,a_hor_x,des_x,dist_x)= if(dist_x>0) then(hor_x) else if(dist_x<0) then(a_hor_x) else (des_x);
Definir Estado da Máquina	fun estado_x(dist_x,final,ligado)= if(dist_x=0) then (final) else (ligado);
Contar Pulsos do encoder	Fun incr_x(dist_x,pulso_x,cont_pulso_x)=if(dist_x>0) then(cont_pulso_x+pulso_x) else if(dist_x<0) then(cont_pulso_x+pulso_x) else (cont_pulso_x+0);
Funções Eixo Y	
Atualizar Posição	fun atu_y(dist_y,posicao_y)=if(dist_y>0) then(posicao_y+1) else if(dist_y<0) then(posicao_y-1) else (posicao_y);
Comparação	funcomp_y(entrada,posicao_y)= entrada-posicao_y;
Definir Ação	fun acao_y(hor_y,a_hor_y,des_y,dist_y)= if(dist_y>0) then(hor_y) else if(dist_y<0) then(a_hor_y) else (des_y);
Definir Estado da Máquina	fun estado_y(dist_y,final,ligado)= if(dist_y=0) then (final) else (ligado);
Contar Pulsos do encoder	Fun incr_y(dist_y,pulso_y,cont_pulso_y)=if(dist_y>0) then(cont_pulso_y+pulso_y) else if(dist_y<0) then(cont_pulso_y+pulso_y) else (cont_pulso_y+0);
Funções Eixo z	
Atualizar Posição	fun atu_z(dist_z,posicao_z)=if(dist_z>0) then(posicao_z+1) else if(dist_z<0) then(posicao_z-1) else (posicao_z);
Comparação	funcomp_z(entrada,posicao_z)= entrada-posicao_z;

Definir Ação	fun acao_z(hor_z,a_hor_z,des_z,dist_z)= if(dist_z>0) then(hor_z) else if(dist_z<0) then(a_hor_z) else (des_z);
Definir Estado da Máquina	fun estado_z(dist_x,final,ligado)= if(dist_z=0) then (final) else (ligado);
Contar Pulsos do encoder	Fun incr_z(dist_z,pulso_z,cont_pulso_z)=if(dist_z>0) then(cont_pulso_z+pulso_z) else if(dist_z<0) then(cont_pulso_z+pulso_z) else (cont_pulso_z+0);

A sequência de ativação das transições na simulação em redes de Petri coloridas segue a sequência de operação real das máquinas ferramenta CNC. A primeira ação é definir a posição atual do eixo, que pode ser feita pelo comando *home machine* ou utilizando os planos de trabalho.

Outra análise possível a partir do *set* de posição é uma usinagem utilizando coordenadas incrementais. Uma das vantagens do CNC é a possibilidade de se atualizar a programação com a máquina em funcionamento, dessa forma, com a máquina programada e os eixos em posições específicas determinadas pela linha atual do programa, as alterações executadas seriam baseadas em relação às posições atuais.

O processo de *set* da posição é feito utilizando as variáveis de posição (*posicao_x, posicao_y* e *posicao_z*) e a atualização da posição pela função de atualização (*atu_x, atu_y* e *atu_z*). A representação dessa etapa pode ser observada na Figura 5.

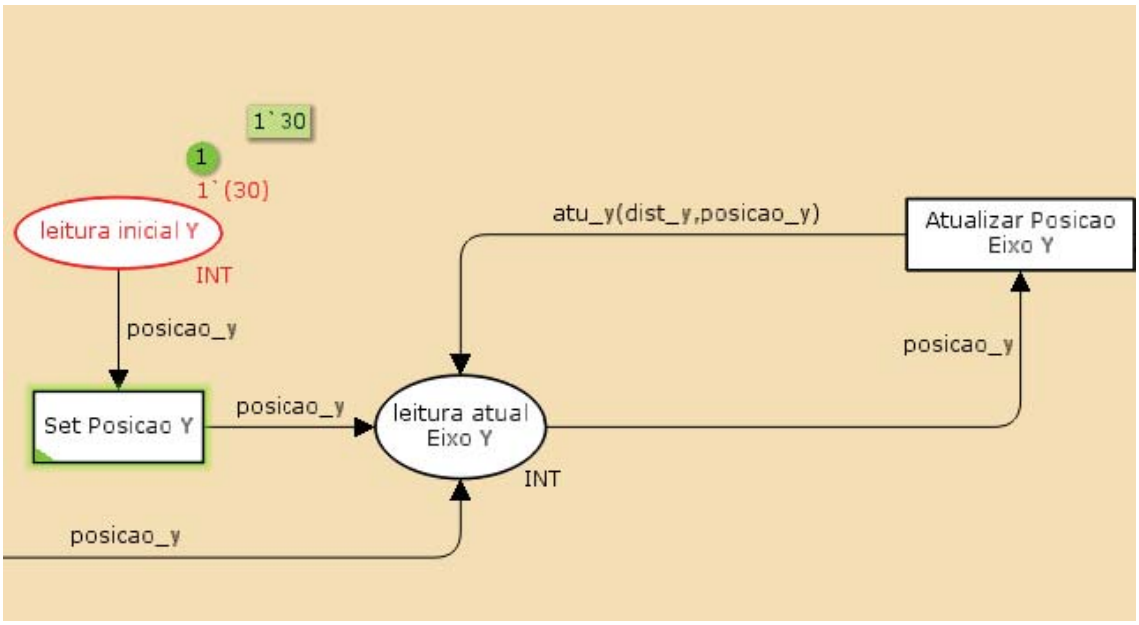


Figura 5: *Set* de posição inicial e atualização de posição

A etapa seguinte se dá pela seleção dos eixos e das posições desejadas. Para tal utiliza-se um lugar com a cor "*INICIO"* do tipo inteiro para as entradas (variável *entrada*) e um segundo estado com cor "*EIXO"* do tipo string para definir os eixo de operação (variável *eixo*). O valor da variável "*entrada"* se dá pelas fichas presentes no lugar *"Entrada de Dados"* e a definição dos eixos pela limitação das transições às strings que representam os três eixos(*"x", "y"* e *"z"*). Tal seleção está representada na Figura 6.

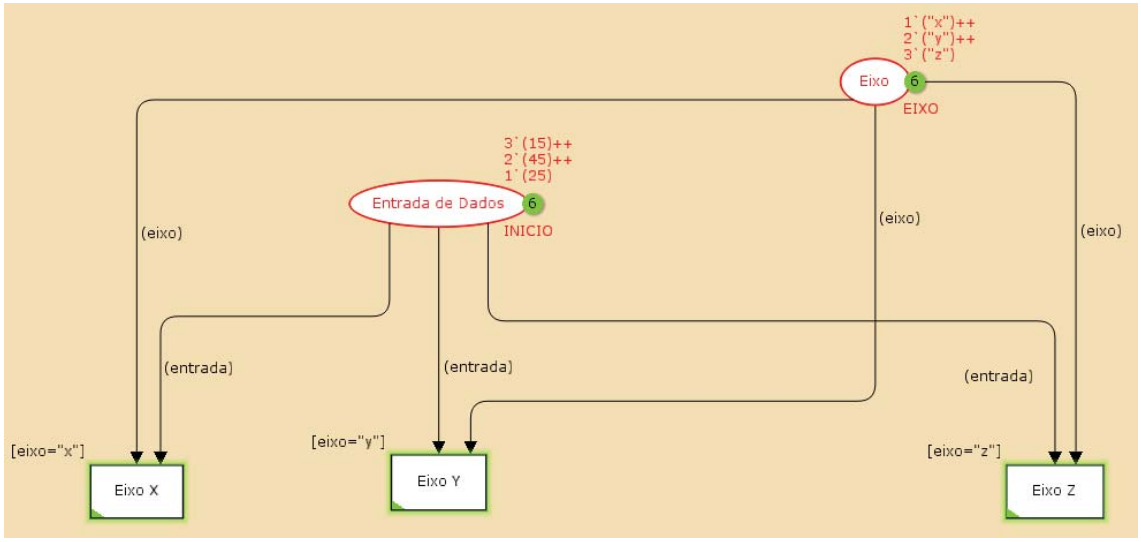


Figura 6:Seleção de eixo e determinação de entrada

Após a definição das entradase da posição atual de cada eixo o próximo passo é a comparação e consequentemente a definição da ação a ser executada. Tal cálculo é feito pela função de comparação (*comp_x, comp_y* e *comp_z*), que define se a distância a ser percorrida (*dist_x, dist_y* e *dist_z*) é da esquerda para direita (positiva), da direita para esquerda (negativa), ou se o eixo já se encontra na posição desejada (nulo). Para cada situação tem-se ações específicas relacionadas. Tais ações são definidas pela função de ação (*acao_x, acao_y* e *acao_z*). A parte da rede que modela esses processos pode ser visto na Figura 7.

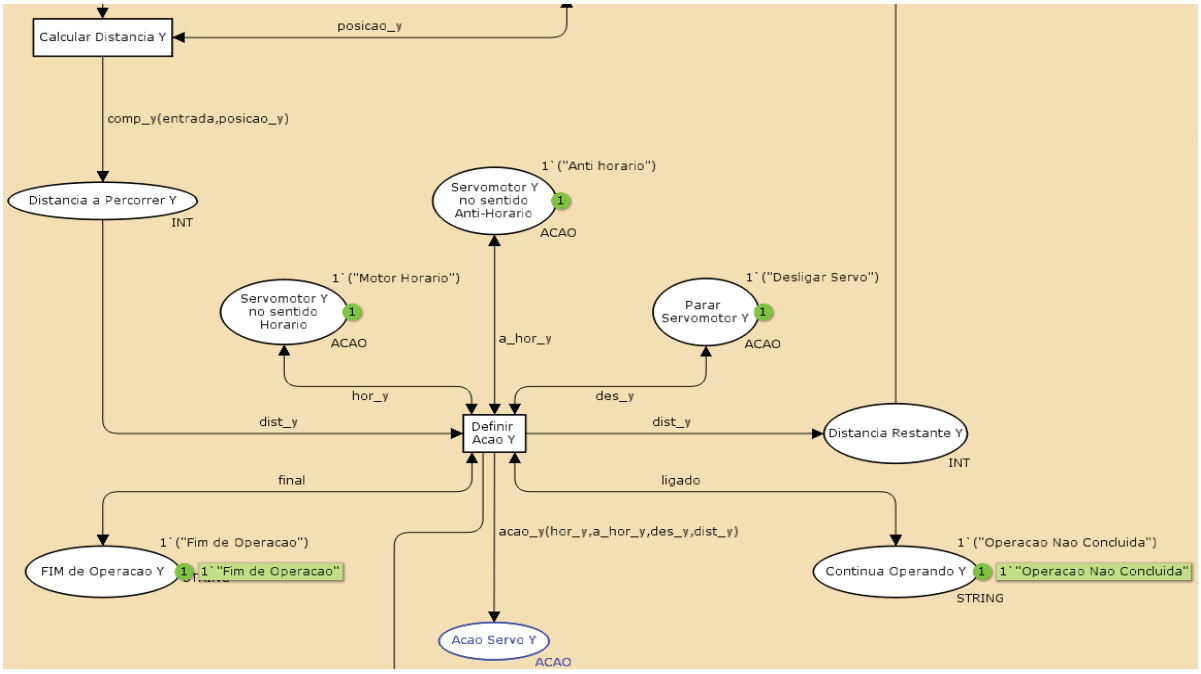


Figura 7: Transição "Definir Acao"

Para uma entrada positiva da variável de distância, a função de ação determinará a ligação do servomotor em sentido horário (*hor*).Para uma entrada negativa, a ligação será no sentido anti-horário (*a_hor*).Por fim, para um valor nulo, tem-se o comando de desligar o servomotor (*des*).

Além da determinação dos estados dos servomotores também determina-se, na transição *"definir acao"*, o estado da máquina em si. A partir do valor da variável de distância determina-se dois estados possíveis de funcionamento de cada eixo: "Operação não concluída" (var *ligado*) e "Fim de Operação" (var *final*), ambas do tipo STRING.

Tal controle é feito a partir da função estado (*estado_x, estado_y e estado_z*). Caso se tenha o lugar de atividade de cada eixo igual à "Fim de Operação", ativa-se a transição encerrar e tem-se como concluída a usinagem, de acordo com a Figura 8.

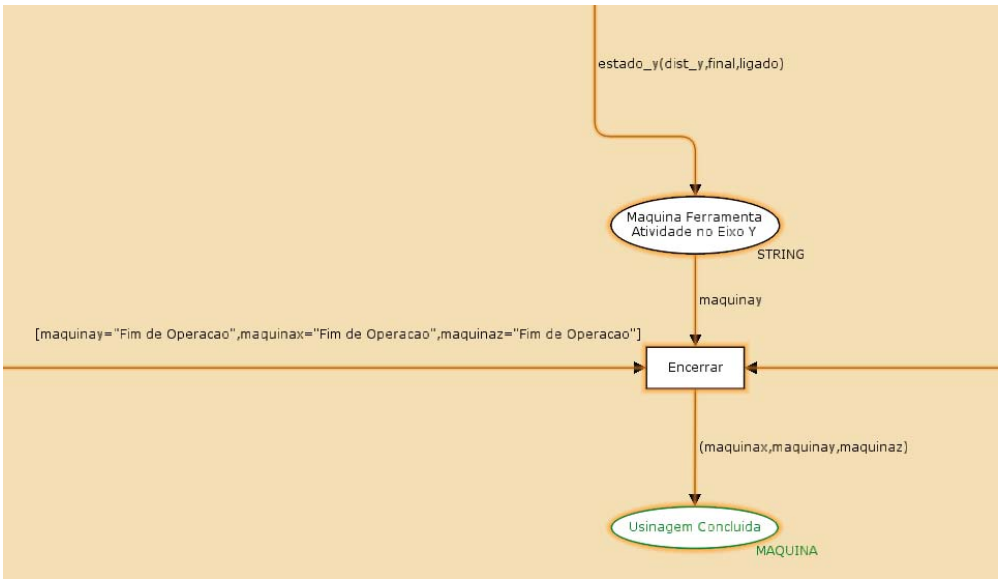


Figura 8: Estado "Usinagem Concluída"

O último estado a ser modelado e que está interligado diretamente com o controle de movimento é a contagem dos pulsos do encoder de cada eixo. Como citado, a distância percorrida e a quantidade de pulsos gerados pelo encoder estão ligados pela relação *1/p*. Ou seja, em um encoder de 2400 pulsos por revolução, este número faz referência a 1mm de movimento do eixo.

Na modelagem apresentada neste trabalho considera-se os encoders com 2400 pulsos por revolução (1mm de percurso). As funções responsáveis (*incr_x, incr_y* e *incr_z*) tem como variáveis as distâncias restantes para as posições desejadas, a quantidade de pulsos de cada encoder (*pulso_x, pulso_y* e *pulso_z*) e o valor do contador (em relação à função de incremento), dado pela variável *"cont_pulso"*. Para cada atualiazação de posição são adicionados 2400 pulsos à contagem no lugar "*Quantidade de pulsos*", como representado na Figura 9.

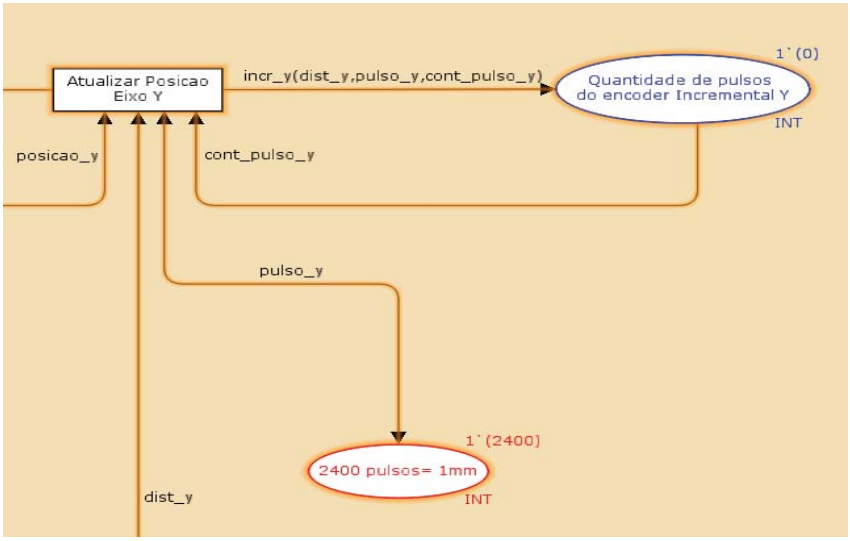


Figura 9: Contagem de pulsos do encoder

6. CONCLUSÃO

Com esse trabalho pode-se analisar individualmente cada eixo, levando em consideração o princípio de funcionamento da máquina CNC em uma interpolação linear.

Observando o modelamento entende-se assim, de forma mais clara, a sistemática e os princiais fatores que influenciam o controle dessas máquinas, tais como sinal de entrada, *set* de posição, sinal dos encoders, entre outros.

Além do sistema de controle de movimento, poderia ainda ser explanado o sistema de controle de velocidade de rotação e a interpolação circular dos eixos, ficando tais fatores como possíveis melhorias para um modelamento mais completo de um CNC.

7. REFERÊNCIAS

NATALE, Ferdinando. **Automação industrial**. São Paulo: Érica, 2000.

CAPELLI, Alexandre. **Automação industrial: controle do movimento e processos contínuos**. 2 ed. São Paulo: Érica, 2008.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. 4 ed. Prentice Hall Brasil, 2003.

MORAES, Cícero Couto de. **Engenharia de automação industrial**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

AALST, Wil van der. **Gestão de Workflows. Modelos, métodos e sistemas**. Imprensa da Univ. de Coimbra, 2009.

MOREIRA, Andre Pimentel. **Comandos numéricos computadorizados – torno e centro de usinagem**. Fortaleza: IFCE, 2010.

RIZVI, Syed Tahir Hussain. **Efficient CNC machine monitoring & control using FPGA**. 2010. Disponível em: <www.scribd.com/doc/53076981/**CNC**-MACHINE>Acesso em: 02 jun. 2011.

SILVA, João Manoel Gomes. **Controle em malha fechada**. 2000. Disponível em: <http://www.ece.ufrgs.br/~jmgomes/pid/Apostila/apostila/node6.html> Acesso em: 02 jun. 2011.

ANÁLISE QUALITATIVA DO CAVACO RESULTANTE DA USINAGEM COM VARIAÇÃO DO AVANÇO

Rafael Bruno F. P. da Silveira[1], Luiz Ricardo A. Rodrigues[1], Edglay de Almeida R. Filho[1] e Jessé M. de Paiva Filho[1]
[1]Instituto Federal do Rio Grande do Norte - Campus Mossoró
Rafael_bfps@hotmail.com – ricardo.araujo@ifrn.edu.br – edgley_rocha@hotmail.com – jessemedeiros09@hotmail.com

RESUMO

Este artigo apresenta considerações iniciais que abordam os conceitos e parâmetros envolvidos no estudo da usinagem. Ressalta a importância do investimento em pesquisas, experimentos e estudos referentes a esta área técnica, visto que os parâmetros de corte, o tipo e forma do cavaco resultante são de fundamental importância para garantir um melhor acabamento superficial da peça e a segurança do operador. Dentro deste conceito ainda estão inseridos os aspectos econômicos e ambientais, pois a analise do tipo e forma do metal retirado nos informa sobre os gastos de matéria prima e o desgaste da ferramenta de corte. Esses dados também são relevantes na avaliação do maquinário utilizado, pois podem nos informar sobre uma possível sobrecarga da maquina de usinagem. Com essas informações, é possível indicar os impactos ambientais resultantes desta atividade e corrigi-los por meio da redução dos gastos de matéria prima e energia. Abordamos também os parâmetros envolvidos no processo de usinagem e a influencia destes na formação do cavaco, além de descrever as etapas do mecanismo de formação do sobremetal. Há a diferenciação dos variados tipos e formas de cavaco, havendo a classificação destes e uma posterior explanação sobre a utilização, preferências e indicação das melhores formas de cavaco associadas ao tipo de atividade desempenhada. Discorremos sobre as atividades e experimentos executados e a apresentação dos dados coletados. A partir dessas informações, há a exposição dos resultados obtidos e, por fim, as conclusões atingidas ao final da analise.

Palavras-chave: cavaco, usinagem, parâmetros de corte, formas de cavaco.

1. INTRODUÇÃO

A corrida em busca de métodos sustentáveis se intensificou nos últimos anos. O mercado se tornou exigente quanto ao processo de fabricação daquilo que consome. Com isso, as indústrias se lançaram em busca de uma redução dos gastos referentes ao consumo de energia e de matérias-primas não- renováveis, passando a investir amplamente em experimentos e pesquisas que visam uma diminuição do consumo desses recursos naturais. Essas medidas visam o aperfeiçoamento do processo de produção, aproximando-o do método produtivo ideal. O processo de usinagem se tornou universal, o que justifica a busca pelo seu aperfeiçoamento. Uma das conseqüências dessa técnica é a produção de sobremetal, visto que esta consiste na retirada de material a partir de uma certa quantidade de matéria prima inicial, objetivando atingir a forma e dimensões finais. O material retirado consiste no cavaco e sua forma pode variar, influenciando a execução da usinagem e, consequentemente, a qualidade final do produto.

A importância do cavaco está interligada a vários aspectos no processo de usinagem e interfere na economia, qualidade final da peça e segurança do operador. A economia é levada em conta quando se analisa a velocidade, o fluido de corte utilizado e a vida útil da ferramenta. A qualidade final da peça diz respeito a fatores como acabamento superficial e os esforços de corte. Esses aspectos são afetados pela forma do cavaco que ainda ressalvam a temperatura, forças de corte, manuseio, armazenagem e danos á ferramentas e peças.

A relevância econômica e ambiental da usinagem justifica a realização de experimentos e o empenho de profissionais com formação acadêmica específica em exercer um estudo a partir da análise e resultados obtidos de variados tipos de cavaco. Esse artigo aborda a analise da formação do cavaco sob diferentes condições, os parâmetros envolvidos no processo, além de exemplificar os tipos e formas de cavaco em estudo.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é expor os dados coletados e as conclusões que estes sugerem a partir da visualização das variações, quanto ao tipo, forma e aspecto físico do cavaco, verificadas com o decorrer das atividades, em que a prática da usinagem foi submetida a alterações realizadas sobre os parâmetros de corte. Ao final, tem-se a avaliação das situações submetidas e a abordagem da melhor circunstância, com potencial aplicação no mercado industrial.

3. JUSTIFICATIVA

A justificativa para a realização deste estudo se insere dentre os conceitos econômicos e ambientais, ambos relevantes em um mundo globalizado e castigado por catástrofes naturais. O produtor visa à alta produção, o operário deve ser conscientizado sobre sua segurança e os órgãos públicos devem se encarregar de fiscalizar e regulamentar a extração de matéria prima e o método de produção. O estudo final do cavaco revela informações importantes para esses setores, além de permitir o aperfeiçoamento da qualidade final do produto, atendendo as exigências impostas pelo mercado.

O processo de usinagem realizado para experimentação e obtenção de dados também permitiu uma interação entre os componentes desta prática e a analise, realizada em conjunto, propiciou dados e conclusões que podem ser visualizados ao final do artigo.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Máquinas de usinagem

A máquina-ferramenta mais antiga e, consequentemente, precursora no processo de usinagem é o torno mecânico. O método adotado pelo torno consiste na fixação e rotação da peça sujeita a ação da ferramenta que avança de acordo com as necessidades do operador. Tal avanço se diferencia conforme a operação que é realizada. Dentre estas operações pode-se ressaltar o desbaste, faceamento, rosqueamento, ranhuramento, mandrilamento e a furação, que diferem quanto ao tipo e fixação da ferramenta utilizada, a posição da peça, direção e sentido do avanço.

Basicamente, o torno é constituído por uma caixa de engrenagens, denominada cabeçote fixo. Dela origina-se o eixo no qual a peça é fixada por meio de uma placa de castanhas. Todo o conjunto de componentes está alinhado sobre o barramento, sobre este se deslocam os carros principal, transversal e superior, além dos demais acessórios que podem, ao torno, serem acrescentados. O torno pode ainda desempenhar atividades comumente realizadas por outro maquinário, como a operação de furação. Para lhe conferir uma multiplicidade de funções alguns acessórios são necessários, como contraponta, mandril, broca e luneta. Ainda com respeito a sua estrutura, sobre o carro superior situa-se a torre ou porta ferramenta onde a ferramenta é fixada, para tal fixação utilizam-se parafusos de aperto manuseados por uma chave de boca. Outra chave necessária é a chave de placa, fundamental no controle das castanhas que prendem a peça.

O torno possibilita a confecção de eixos, polias, pinos, roscas, peças cilíndricas internas e externas, cones, entre outros. Mesmo com a grande variedade de formas, esta máquina-ferramenta se mostrou ineficiente diante de certas geometrias exigidas pelo mercado. Para suprir tal necessidade desenvolveram-se máquinas-ferramenta mais específicas, como a fresadora e a plaina.

A fresadora, do mesmo modo do torno, remove o material da peça por meio de uma ferramenta de corte giratório, fresa. Esta tem, geralmente, formato cilíndrico e é repleta de múltiplos gumes cortantes que em movimento rotativo permite a retirada de fragmentos (cavaco), dando as dimensões desejadas ao objeto. Essa máquina admite a usinagem de superfícies em diversas orientações, com a movimentação tanto da fresa quanto da peça que podem assumir diferentes direções. A utilização da fresadora na indústria é incluída em operações de desbaste e acabamento, dependo do tipo e posição de fresa a ser empregada, e pode fabricar peças de geometria variada, como engrenagens retas ou helicoidais.

Apesar da grande discrepância entre as formas e características, a plaina também surgiu a partir do torno mecânico, que muitas vezes gerava transtornos na produção de superfícies retas e planas. Nessa operação, o material é cortado por uma ferramenta de corte montada sobre um torpedo que executa movimentos alternativos sobre a peça, que presa à mesa da máquina, avança transversalmente, removendo irregularidades presentes na peça. A plaina ainda possibilita a realização de estrias, rasgos, rebaixos, chanfros e faceamento de topo em peças de grande comprimento.

4.2 Cavaco

A Formação do cavaco é base para o entendimento de qualquer processo de usinagem. Através de estudos durante os tempos podemos observar o desenvolvimento de tecnologias que possibilitam o aperfeiçoamento dos processos de usinagem, das ferramentas de corte e o surgimento de novos materiais para estas, além do melhoramento continuo da geometria das ferramentas, com quebra-cavacos cada vez mais eficientes, e a possibilidade de usinar os mais variados tipos de materiais. Sabe-se que o cavaco é formado em altíssimas velocidades de deformação, seguidas de ruptura do material da peça. Para um estudo mais detalhado, divide-se o processo em quatro eventos:

Recalque inicial: a penetração da cunha cortante no material da peça, uma fração deste (ainda unida à peça) é forçada contra a superfície de saída da ferramenta.

- **Deformação e ruptura:** durante a pressão sofrida pelo material, de início, ele sofre uma deformação elástica segunda da plástica, que aumenta progressivamente até o estado de tensões provocar a ruptura. Na maioria das vezes esta rupturas dá por cisalhamento, embora exista um estado de tensões que combina tensões de compressão/ tração e de cisalhamento e leve o material à ruptura, dependendo de critérios próprio da natureza frágil ou dúctil do material.
- **Deslizamento das lamelas**: logo em seguida a penetração da ferramenta na peça, haverá uma ruptura parcial, ou completa, na região de cisalhamento. As propriedades do material e as condições de avanço e de velocidade de corte irão determinar quanto o segmento de material rompido permanecerá unido ao cavaco recém-formado, dando origem a cavacos contínuos ou descontínuos, conforme a extensão e a resistência da união entre as lamelas de material rompido.
- **Saída do cavaco:** devido ao movimento relativo entre a ferramenta e a peça, inicia-se um escorregamento da porção de material deformada e rompida - o cavaco - sobre a superfície de saída da ferramenta. Enquanto tal evento ocorre, uma nova lamela de material (imediatamente adjacente à porção anterior) está se formando e passando pelos mesmos processos. Essa nova porção de material também escorregará sobre a superfície de saída da ferramenta, e o fenômeno será repetido.

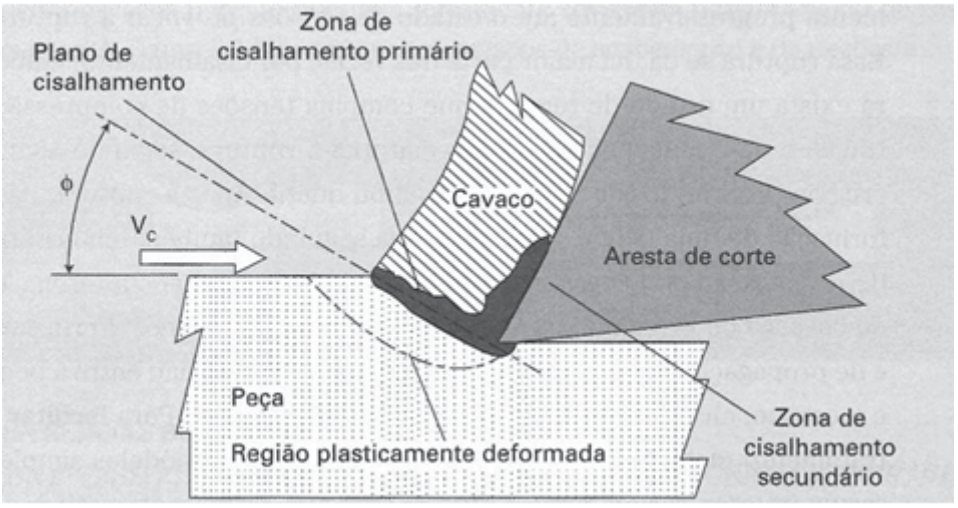


Figura 1 - Mecanismo de formação do cavaco (MACHADO et. al., 2009)

4.3 Tipos de cavaco

Com a remoção do cavaco, uma nova superfície é gerada na peça. Morfologicamente, os cavacos podem ser *contínuos, descontínuos* e *segmentados.* Em geral, cavacos contínuos surgem: durante a usinagem de materiais dúcteis, enquanto os descontínuos aparecem durante a usinagem de materiais frágeis. Existem várias vantagens em produzir cavacos curtos. A quebra do cavaco pode ocorrer naturalmente durante a sua formação, como no caso da usinagem de bronze e de ferro fundido, ou sua quebra pode ser conseguida pelos quebra-cavacos. Podemos ser mais detalhados e classificar os cavacos da seguinte forma: contínuo, parcialmente contínuo, descontínuo, e segmentado.

A obtenção dos três primeiros tipos depende muito da ductilidade (ou fragilidade) do material da peça e dos parâmetros de corte. Já o último tipo refere-se a cavacos produzidos geralmente na usinagem de materiais de baixa condutividade térmica e na presença de "cisalhamento catastrófico (ou adiabático)" (MACHADO et. al., 2009 apud. RECHT, 1964).

4.3.1 Cavacos contínuos

Os cavacos contínuos são formados, na usinagem de materiais dúcteis, como aços de baixa liga, alumínio e cobre, conforme mostrado esquematicamente na Figura 2 (a).

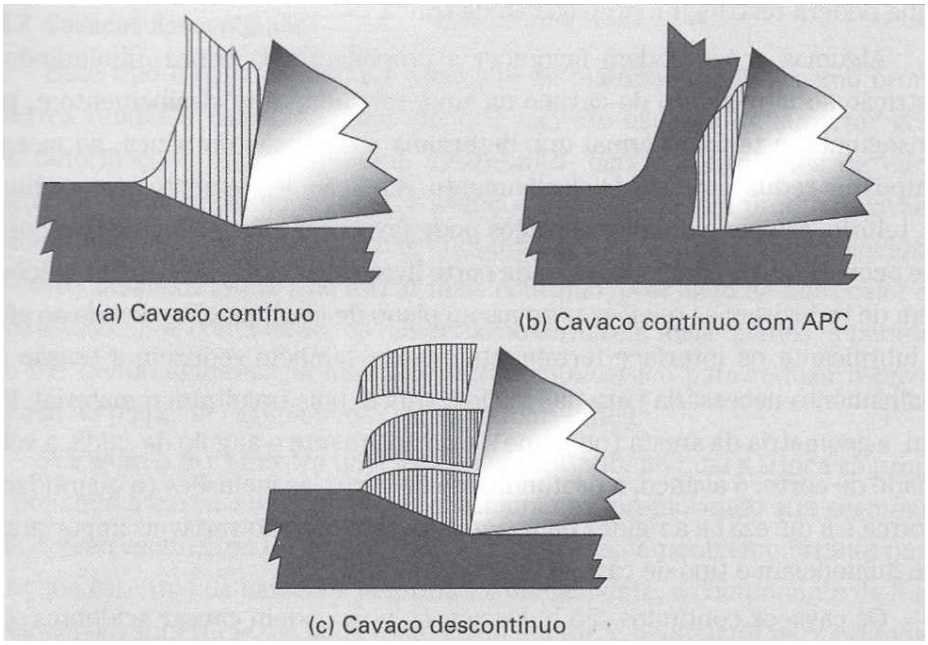


Figura 2 - Tipos de cavaco segundo a classificação mais simples. (MACHADO et. al., 2009)

Nesse caso, o metal cisalha na zona primária de cisalhamento com grandes formações e permanece homogêneo, sem fragmentação. Apesar da forma de a externa não apresentar nenhuma evidência clara de fratura ou trinca, esses fenômenos ocorrem para que uma nova superfície seja formada.

O tipo de cavaco também está fortemente ligado à tensão normal no plano de cisalhamento, a qual depende do ângulo de cisalhamento ϕ e das condições de atrito na interface ferramenta/cavaco, ou seja, na zona secundária de cisalhamento (MACHADO et. al., 2009 apud. DOYLE, 1979). Na formação do cavaco contínuo, no entanto, há um equilíbrio entre a tensão normal e a de cisalhamento no plano de cisalhamento, de forma que a trinca surgida no momento da ruptura não se propague muito ou rapidamente, para que o cavaco não seja interrompido.

Os cavacos contínuos são indesejáveis, pois podem causar acidentes, danificar a superfície usinada etc. Se eles não se quebrarem naturalmente, um quebra-cavaco deverá ser usado para promover a segmentação.

4.3.2 Cavacos parcialmente contínuos

Trata-se de um tipo intermediário entre os cavacos contínuos e descontínuos, no qual a trinca se propaga parcialmente pela extensão do plano de cisalhamento. É, muitas vezes, denominado "cavaco de cisalhamento" (MACHADO et. al., 2009 apud. FERRARESI, 1977).

4.3.3 Cavacos descontínuos

Esse tipo é mais comum na usinagem de materiais frágeis, como bronze e ferros fundidos cinzentos, uma vez que não são capazes de suportar grandes deformações sem se quebrar. Entretanto, baixas velocidades de corte, ângulo de saída pequeno e grandes avanços também podem produzir cavacos descontínuos em materiais de baixa ductilidade (Figura 2(c)).

4.3.4 Cavacos segmentados

Os cavacos segmentados são caracterizados por grandes deformações continuadas em estreitas bandas entre segmentos com pouca ou quase nenhuma deformação nos seus interiores. Trata-se de um processo muito diferente do verificado na formação do cavaco contínuo. O cisalhamento para formar o cavaco começa a ocorrer em um plano de cisalhamento particular, quando as tensões impostas pelo movimento da ferramenta contra a peça excedem o limite de escoamento do material da peça (Figura 3).

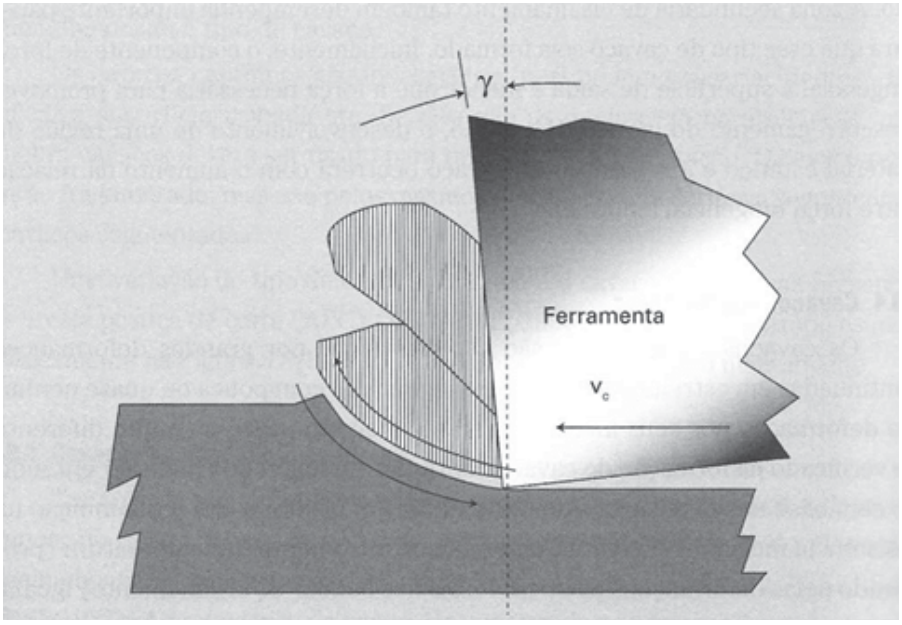


Figura 3 - Cavaco segmentado (MACHADO et. al., 2009 apud. KOMANDUR1, 1981)

Verificou-se, experimentalmente, que muitos materiais podem sofrer cisalhamento termoplástico catastrófico, dependendo da temperatura alcançada durante a formação de cavacos e de suas propriedades térmicas. Pesquisas científicas mostraram que um material pode sofrer cisalhamento termoplástico catastrófico - quando o efeito de amolecimento devido ao aumento da temperatura supera o efeito do endurecimento a frio - acima de uma determinada velocidade, chamada "crítica". Essa velocidade é de 61 m/min; já para o AISI4340, é de 275 m/min.

4.4 Formas de cavaco

Quanto à sua forma, os cavacos podem ter a seguinte classificação: em fita, helicoidais, em espiral, em lascas ou pedaços.

Entretanto, a norma ISO 3685 (1993) classificou mais detalhadamente a forma dos cavacos (Figura 4).

O material da peça é o que mais influencia a forma e o tipo dos cavacos. Cavacos contínuos, parcialmente contínuos e segmentados podem ser produzidos em qualquer das formas mostradas na Figura 4, dependendo dos parâmetros de corte e do uso de quebra-cavacos. Cavacos do tipo descontínuo, entretanto, só podem ser classificados quanto às formas das lascas, ou em pedaços.

No que se refere aos parâmetros de corte, em geral, um aumento na velocidade de corte, uma redução no avanço, ou um aumento no ângulo de saída tendem a mudar as formas da direita para a esquerda (Figura 4), isto é, produzir cavacos em fitas (ou contínuos, quanto ao tipo). O avanço é o parâmetro mais influente, seguido da profundidade de corte, a afetar a forma do cavaco. A Figura 5 mostra como as formas de cavaco são afetadas pelo avanço e pela profundidade de corte.

As formas de cavacos longos é que causam os maiores transtornos quanto à segurança de produtividade, exigindo, portanto, mais cuidado e especial atenção ao seu controle. Apesar de os parâmetros de corte poderem ser, na maioria das vezes, escolhidos para evitar ou reduzir a formação de cavacos contínuos, o método mais efetivo para produzir cavacos curtos é a utilização de quebra-cavacos.

A produção de cavacos longos pode causar os seguintes problemas:

- As baixas densidades efetivas desse tipo de cavaco, devido ao alto volume que ocupam, dificultam o manuseio nos processos subsequentes de manuseio e descarte.
- Podem aderir à peça, a partes da máquina, ou à ferramenta, criando situações de perigo ao operador por conta das altas velocidades e do fio de corte em cavacos de material endurecido pelo encruamento.
- Podem prejudicar o acabamento superficial ao aderir à peça, ou mesmo levar à quebra da aresta de corte.
- Aumentam a força de usinagem, a temperatura e, em geral, diminuem a vida útil das ferramentas.
- Prejudicam o acesso do fluido de corte à área de formação de cavacos.

1- Cavaco em fita	2- Cavaco tubular	3- Cavaco espiral	4- Cavaco helicoidal tipo arruela	5- Cavaco helicoidal cônico	6- Cavaco em arco	7- Cavaco fragmentado	8- Cavaco tipo agulha
1-1- Longo	2-1- Longo	3-1- Plano	4-1- Longo	5-1- Longo	6-1- Conectado		
1-2- Curto	2-2- Curto	3-2- Cônico	4-2- Curto	5-2- Curto	6-2- Solto		
1-3- Emaranhado	2-3- Emaranhado		4-3- Emaranhado	5-3- Emaranhado			

Figura 4 - Formas de cavacos produzidos na usinagem dos metais (MACHADO et. al., 2009 apud. ISO, 1993)

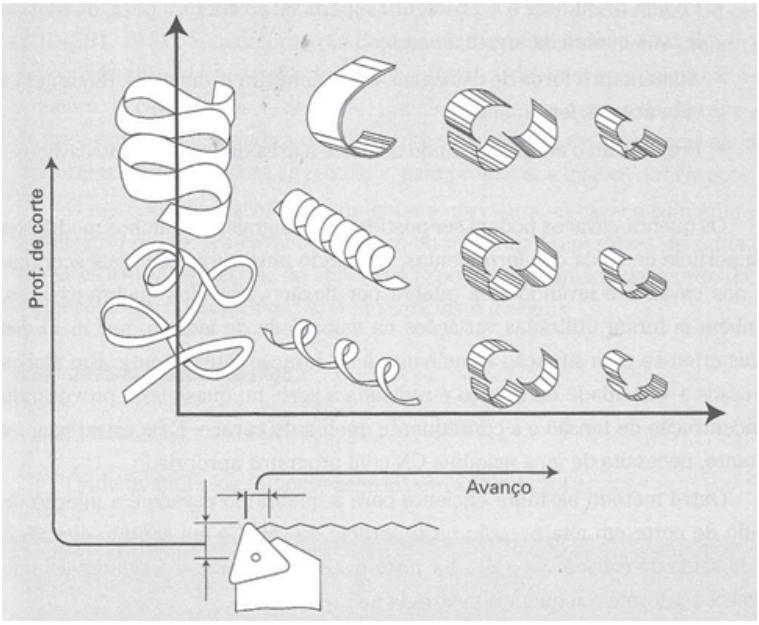


Figura 5 - Efeito do avanço e da profundidade de corte na forma dos cavacos (MACHADO et. al., 2009 Apud. SMITH,1989)

De maneira geral, quanto menor for a espessura do cavaco, mais flexível ele é, portanto, maior será a dificuldade de quebra. Os cavacos que já sofreram intensas deformações passando pelas zonas primárias e secundárias de cisalhamento necessitam de uma deformação crítica.

5. METODOLOGIA

A metodologia adotada para a realização deste trabalho consiste na realização prática da usinagem, observada pelos autores deste artigo, que realizaram a coleta de dados em diferentes etapas do processo, visando demonstrar as alterações realizadas e as consequentes modificações sofridas pelo cavaco. Ao final da prática, os dados foram reunidos e, juntamente com a operação, foram descritos em parte do corpo do artigo. As demais etapas do conteúdo deste texto puderam ser concretizadas graças à consulta realizada a textos previamente selecionados. A obtenção dessas fontes se deu através de pesquisas realizadas junto a professores e profissionais com formação acadêmica na área da engenharia mecânica, mais especificamente na área de usinagem e produção mecânica.

Para o trabalho em questão fixamos parâmetros de usinagem como a profundidade de corte em 0,5mm e a velocidade angular em 200 RPM. Como o material usinado era um aço SAE 1020, um metal dúctil resolvemos observar a formação do cavaco variando apenas o avanço da ferramenta. A ferramenta utilizada foi uma pastilha TNMG 160404 recoberta por TiC e quebra cavaco tipo TF, devidamente fixada em seu suporte.

6. RESULTADOS OBTIDOS

A observação do comportamento do cavaco realizada em laboratório necessitou da usinagem de um tarugo de aço SAE 1020 e nela se alteraram aspectos como o avanço e a qualidade de conservação da ferramenta de corte. A velocidade de rotação desse eixo durante toda a experimentação se manteve

constante, com um valor de 200 rpm, e aspectos como a qualidade do excesso do metal e acabamento da peça a ser usinada foram ressaltados durante esse processo.

As primeiras observações contaram com o uso de uma ferramenta de corte de má qualidade, ocasionada por uma conservação inadequada e uso sem as devidas medidas. O avanço teve o valor de 0,251mm/revolução e ocorreu a produção de cavacos de baixa qualidade por serem contínuos, gerando riscos ao operador com o aumenta da temperatura envolvida, além de, aumentar o desgaste da ferramenta e o atrito entre a ferramenta e a peça. Apesar deste tipo de formação, o acabamento da peça teve uma ótima qualidade, o que atenderia as exigências industriais que necessita.

Com um avanço maior, 0,271mm/revolução, o cavaco produzido foi melhor que o anterior, diminuindo, assim, os problemas com segurança e a dissipação de calor da operação, porém as características deste reduziram pouco às adversidades causadas por uma má formação do cavaco. Em contra partida, o acabamento superficial do produto piorou em relação ao avanço menor, diminuindo a qualidade da usinagem.

A última observação, com uma ferramenta de menor qualidade de conservação, teve a ajustagem do avanço para 0,31 mm/revolução. Com a alteração desse parâmetro, o cavaco produzido melhorou em relação às experiências anteriores, diminuindo, consideravelmente, os riscos operacionais presentes no decorrer da usinagem. A grande adversidade encontrada com essa profundidade foi à qualidade do acabamento produzido que teve características inferiores as demais (ver Figura 6).

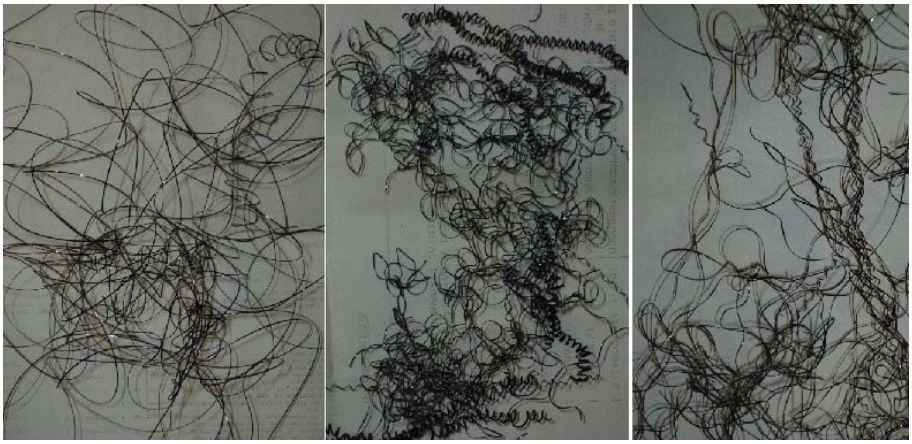


Figura 6 - Cavacos produzidos pela ferramenta desgastada

A ferramenta utilizada no processo alterou-se por uma com melhores características de conservação, para uma melhor observação das vantagens do uso de uma ferramenta adequada na usinagem. Com o avanço similar ao usado no primeiro processo com uma ferramenta desgastada, 0,251mm/revolução, iniciou-se essa observação. O cavaco produzido quebrava-se com facilidade, aumentando a segurança e reduzindo a temperatura de operação da usinagem. Mas, o acabamento do eixo não acompanhou a qualidade do cavaco e acabou não tendo as características desejadas.

Com o aumento do avanço para 0,271mm/revolução, as propriedades do cavaco foram inferiores ao antecedente, mas ainda não ofereceram grandes riscos de acidentes ou de desgaste do sistema envolvido e as características do acabamento melhoraram, concomitantemente, a qualidade do acabamento superficial da peça usinada.

Na última observação, o avanço assumiu o maior valor com a ferramenta de boa qualidade, 0,31mm/revolução, e produziu cavacos de má qualidade, voltando a gerar risco de segurança e

aumentando o atrito da operação. O acabamento superficial, por sua vez, melhorou em relação às demais observações (ver Figura 7).

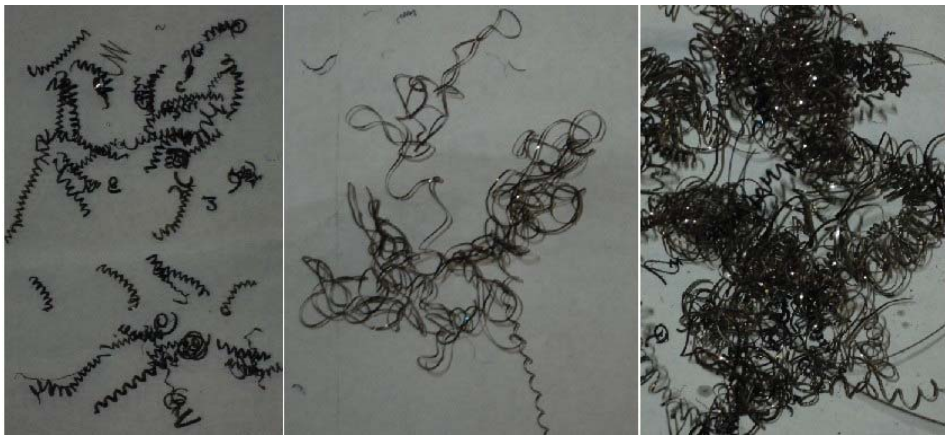


Figura 7 - Cavacos produzidos pela ferramenta conservada

7. CONCLUSÃO

Ao final do processo, nota-se que a utilização de uma ferramenta desgastada se torna uma atitude irresponsável devido à disparidade entre as relações de acabamento superficial da peça e segurança do operador, porém não descartamos a utilização desta para operações de desbaste anteriores ao acabamento da peça.

Enquanto a qualidade da peça tende a diminuir com o aumento do avanço, o cavaco se torna menos danoso, propiciando uma melhor atividade e segurança para o operador. O uso desta ferramenta também se tornou economicamente inviável devido à necessidade de se trabalhar com um avanço menor para que se pudesse atingir um nível de qualidade aceito pelo mercado, aumentando assim o tempo de fabricação.

Visto que a demanda e concorrência de mercado implicam em alta produtividade, a utilização da ferramenta desgastada se torna um retardo e, consequentemente, acarreta um déficit financeiro. Tratando-se de uma ferramenta em boas condições, observou-se um melhor desempenho, tendo em vista o atendimento das necessidades de produtores e consumidores.

Essa ferramenta apresentou um melhor comportamento quanto aos trabalhos realizados com um avanço intermediário, o que sugere a sua utilização em indústrias que visam à velocidade de produção. Nessa situação, o instrumento de corte propiciou uma melhor associação entre qualidade e segurança no trabalho, sendo benéfico também para o operador. A menor disparidade entre as relações de qualidade e segurança pôde ser verificada com a utilização de um avanço a nível intermediário.

O uso da última ferramenta em maiores avanços propiciou uma melhor qualidade de acabamento, em contrapartida, o cavaco se tornou continuo o que poderia trazer risco para o operador, por poder ser atingido por quando o mesmo se enroscar na peça e girar junto com ela. Portanto, fica evidente a recomendação pela utilização de ferramentas de corte em boa conservação com um avanço intermediário e para se evitar a formação de cavacos contínuos sugerimos o aumento da profundidade de corte e/ou a utilização de quebra cavacos com maior eficiência.

8. REFERÊNCIAS

CORRÊA, Dirley Carlos, 2002, **"Usinabilidade de mancais bimetálicos: influência do avanço no desgaste e na formação de rebarbas**, Dissertação de mestrado, PUC Minas, Belo Horizonte, MG, Brasil.

Cavacos de Usinagem. Disponível em: < http://www.ufrgs.br/gpfai/download/usinagem_2.pdf> Acesso em: 19 set 2011.

Geração de calor e distribuição de temperaturas. Disponível em: <http://www.cimm.com.br/portal/noticia/material_didatico/3652 > Acesso em: 17 set 2011.

MACHADO, Alisson Rocha et al. **"Teoria da usinagem dos materiais"**. São Paulo: Blucher, 2009.

Usinagem – Mecanismo de formação do cavaco. Disponível em: <http://www.geocities.ws/cmovbr73/ProcFabr_Cap3_FormacaoCavaco.pdf> Acesso em: 17 set 2011.

STOETARAU, Rodrigo Lima. **Cavacos.** Disponível em: <http://www.lmp.ufsc.br/disciplinas/Stoterau/Aula-03-U-2007-1-cavacos.pdf> Acesso em: 17 set 2011.

ATRITO, DESGASTE E LUBRIFICAÇÃO EM COMPRESSORES HERMÉTICOS DE REFRIGERAÇÃO – ANÁLISE DE PATENTES

I. M. G. Almeida[1], C. R. F. Barbosa[2] , F.AO. Fontes[2]
[1]Instituto Federal do Rio Grande do Norte – Campus Santa Cruz e [2]Universidade Federal do Rio Grande do Norte
igor.almeida@ifrn.edu.br – cleiton@ufrnet.br – franciscofontes@uol.com.br

RESUMO

As perdas por atrito estão entre os principais fatores que determinam a eficiência de compressores. Elas não unicamente aumentam o consumo de energia, mas podem originar desgaste no compressor, reduzindo sua vida útil. Este artigo trata da problemática relativa ao atrito, desgaste e lubrificação em compressores herméticos *reciprocating* tradicionais na refrigeração doméstica sob o ponto de vista das patentes de invenção propostas como melhorias nestas temáticas. São apresentadas algumas características tribológicas dos compressores herméticos bem como resultados de pesquisas. Uma revisão de patentes mais relevantes existentes na base nacional e internacional acerca da problemática do atrito, desgaste e lubrificação dos componentes do mecanismo de compressão em compressores herméticos utilizados no segmento de refrigeração doméstica é apresentada. São discutidas alternativas propostas por inventores e fabricantes diversos com relação a: bomba de óleo, novos materiais de atrito, configurações de biela, configurações de pistão e estrutura geral do mecanismo de compressão. As patentes selecionadas apresentam algumas alternativas que estão em investigação pela comunidade científica e que oferecem boas respostas aos objetivos principais de aumento de eficiência do compressor.

Palavras-chave: compressor hermético, refrigeração doméstica, desgaste, atrito, lubrificação

1. INTRODUÇÃO

O Protocolo de Montreal para substâncias que destroem a camada de ozônio é acordo internacional desenvolvido para proteger a camada de ozônio estratosférica. Em geral, o acordo firma o compromisso em se desenvolver refrigerantes alternativos que possam garantir a proteção ambiental.

Neste sentido, a indústria de compressores de refrigeração tem despendido muito esforço no desenvolvimento de um compressor compatível com refrigerantes alternativos mas que não apresente perda de performance (Cho e Jung, 2010). Como os custos de energia aumentam rapidamente, perdas mecânicas em compressores de refrigeração tem atraído muita atenção recentemente (Sariibrahimoglu et al., 2010)

Compressores de movimento alternado (*reciprocating*) são muito empregados em refrigeradores domésticos e em muitas outras aplicações. Um sistema com virabrequim acionado por um motor elétrico transforma o movimento rotativo de um rotor em um movimento alternado (*reciprocating*) de um pistão. No ciclo de operação de dois tempos, quando o pistão desce no curso de sucção a pressão do gás no cilindro cai até que seja inferior à pressão na linha de sucção e a válvula de sucção automática abre para admitir o gás vindo do evaporador. Ao final deste tempo a válvula fecha e o tempo de compressão se inicia. Quando a pressão no cilindro é maior que a pressão de descarga a válvula de descarga abre e o gás comprimido vai para o condensador. A figura 1 apresenta um compressor hermético em corte utilizado em refrigeradores domésticos.

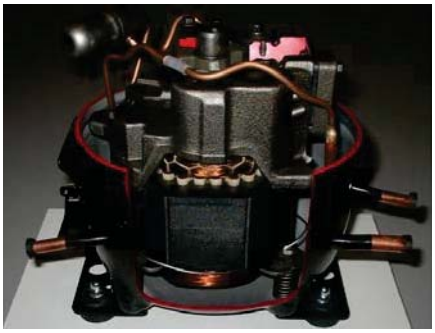


Figura 1. Compressor hermético em corte.

Estudos recentes têm explicado melhor as eficiências nos processos de conversão de energia em compressores herméticos alternados e caracterizado a natureza das principais perdas. De um modo geral, as perdas de energia são divididas em: i) elétricas, ii) atrito, iii) termodinâmicas e iv) perdas cíclicas. Perdas termodinâmicas e por atrito são diretamente relacionadas com a função do óleo no compressor. Perdas por atrito são perdas mecânicas que ocorrem nos mancais e na folga radial entre pistão e cilindro. Perdas termodinâmicas envolvem o fluxo de gás refrigerante dentro do compressor (Prata e Barbosa, 2009).

Billiard *apud* Prata e Barbosa (2009) indicou cinco áreas tecnológicas onde melhorias resultariam em aumento da eficiência energética, são elas: i) convecção forçada em evaporadores e compressores, ii) óleos de baixa viscosidade, iii) redução do nível de temperatura dentro dos compressores, iv) motores de velocidade variável e v) isolamento. Destes, os itens (ii), (iii) e (iv) envolvem, de forma direta, a função do óleo no compressor.

As perdas por atrito estão entre os principais fatores que determinam a eficiência de compressores. Elas não unicamente aumentam o consumo de energia, mas podem originar desgaste no compressor, reduzindo sua vida útil. Este fator é agora atribuído à ecologia da mesma forma que o consumo de energia. A vida útil é relacionada a emissão de CO_2 – o compressor desgastado deve ser substituído por um novo,

originando emissões e elevando o consumo de energia e materiais em todas as fases do processo de fabricação (Dagilis e Vaitkus, 2009).

Atrito é a resistência ao movimento entre duas superfícies que são forçadas a deslizar relativamente uma a outra. As propriedades de atrito dos materiais em contato íntimo vão resultar em desgaste das superfícies em contato. Atrito e desgaste são de considerável importância quando consideramos a eficiência e/ou o tempo de vida útil de um produto ou componente. O atrito em mancais vai resultar em perda de potência e geração de calor, considerando que qualquer desgaste resultante pode levar a pobres tolerâncias de trabalho, perda de eficiência e falha prematura. O processo de desgaste pode ser definido como a "perda progressiva de substância de uma superfície de operação de um corpo ocorrendo como resultado de um movimento relativo desta superfície" (Gagg e Lewis, 2007). A figura 2 apresenta os componentes internos de um compressor hermético alternado.

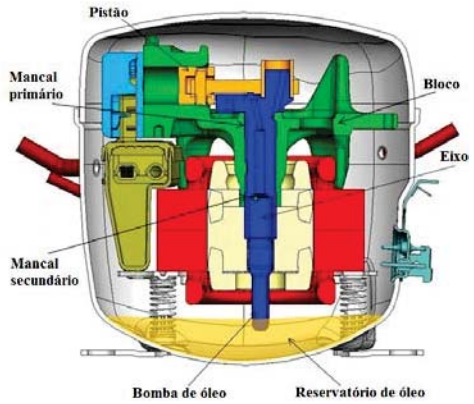


Figura 2. Componentes internos do mecanismo de compressão.
Fonte: Luckmann et al. (2009)

Além do papel mais óbvio de lubrificação, o óleo realiza muitas outras tarefas no compressor. Onde podese citar: resfriamento, vedação, proteção contra corrosão, atuando como um fluido hidráulico, reduzindo o nível de ruído e mantendo reduzidas pressões de equalização durante o ciclo *off* do compressor (Prata e Barbosa, 2009).

As características de lubrificação são críticas para a performance do sistema, particularmente devido às asperezas entre as partes móveis dos mancais e pistão-cilindro, que podem ocasionar contato entre as partes. A pressão de contato suporta uma porção da carga total e a pressão hidrodinâmica suporta o restante (Cho e Jung, 2010).

Imediatamente após o motor elétrico começar a funcionar, de forma a evitar o contato entre as partes deslizantes que pode resultar em atrito excessivo e desgaste é essencial que o óleo lubrificante seja entregue instantaneamente nos mancais axiais e radiais e na folga entre pistão e cilindro. Assim, no projeto ideal do sistema de bombeamento de óleo deve haver um compromisso entre o tempo necessário para a primeira partícula de óleo sair do reservatório e alcançar os mancais (geralmente chamado de "tempo de escalada") com a vazão de óleo necessária para as condições específicas de carregamento dinâmico as quais os mancais podem ser submetidos (Luckmann et al., 2009).

Requisitos de custos impõem que a bomba de óleo deve ser simples e eficiente, desta forma, na maioria dos compressores herméticos utilizados em refrigeradores domésticos utiliza-se da rotação real do eixo para conduzir uma força que vença a gravidade e o atrito durante a escalada do óleo. O óleo é bombeado verticalmente em uma ranhura helicoidal usinada no eixo. No topo do eixo o óleo é expelido no ambiente interno, atinge a parte superior da carcaça do compressor e cai novamente para o cárter na parte inferior. Para um correto projeto da bomba e dos canais e passagens de óleo uma compreensão detalhada do fluxo de óleo é necessária (Luckmann et al., 2009). A figura 3 apresenta a gemoetria detalhada do eixo de um compressor hermético e dos canais de alimentação.

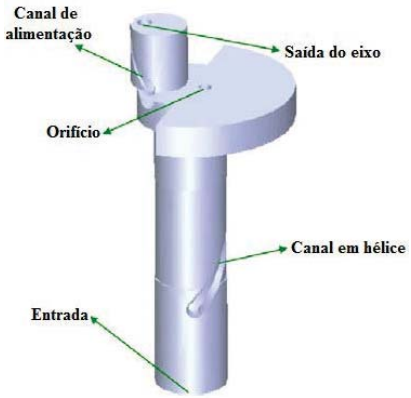


Figura 3. Geometria detalhada do eixo e dos canais de alimentação.
Fonte: Luckmann et al. (2009)

Durante as três últimas décadas as perdas por atrito têm sido reduzidas devido à melhoria na qualidade dos lubrificantes, alta qualidade de fabricação das superfícies de atrito, novos materiais anti-fricção e produção comercial de metal-cerâmica (Dagilis e Vaitkus, 2009).

O compressor hermético doméstico é uma máquina complicada, já que quase todos os pares de atrito trabalham na condição de lubrificação de contorno ou um regime misto. Esta condição não é causada apenas pelas altas cargas mas também pelo fato de que as superfícies nos pares se encontram quase sempre em posições torcidas, como mostra a figura 4. As superfícies estão em contato, o que aumenta o coeficiente de atrito. Este depende menos da viscosidade do óleo e mais da magnitude e natureza da carga.

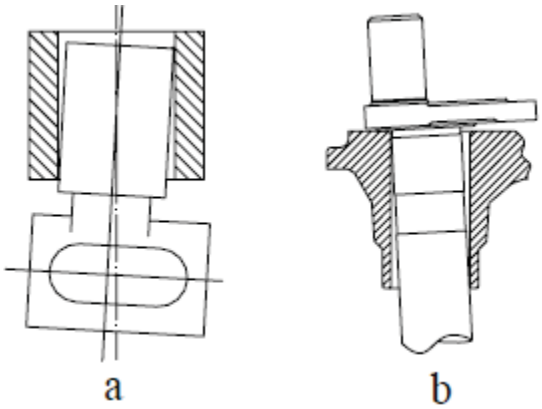


Figura 4. Pares de atrito sob carga. a) par pistão-cilindro; b) par eixo-mancal.
Fonte: Dagilis e Vaitkus (2009)

Outra característica dos pares em atrito em compressores herméticos é relacionada à alta concentração de refrigerante no óleo. A lubrificação hidrodinâmica é baseada na tração do filme lubrificante na folga existente entre o mancal e o eixo. No entanto, com o aumento da folga a pressão do filme de óleo diminui, fazendo com que ocorra a cavitação - libreração de vapor de refrigerante do óleo. Isto diminui a capacidade de carga do filme de óleo (Dagilis e Vaitkus, 2009). A figura 5 apresenta um os principais fatores que contribuem para a quantificação do atrito e desgaste em compressores de refrigeração, bem como estratégias para redução dos mesmos, segundo Zmitrowicz (2006).

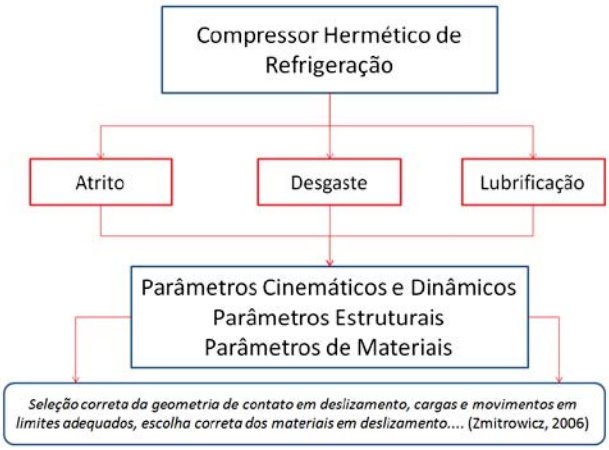


Figura 5. Quadro representativos dos parâmetros de projeto de compressores herméticos.

Analisando a figura 5 observam-se os principais parâmetros que influenciam nas características de atrito, desgaste e lubrificação interna do compressor, que são os parâmetros cinemáticos e dinâmicos, estruturais e de materiais. Neste sentido, o objetivo do presente trabalho é avaliar as patentes de invenção mais relevantes existentes nas bases de pesquisa nacional e internacional relativas a propostas que visem melhorias nas condições de atrito, desgaste e lubrificação em compressores herméticos de movimento alternado (*reciprocating*) utilizados em refrigeradores domésticos. Serão discutidas alternativas propostas por inventores e fabricantes diversos com relação a: bomba de óleo, novos materiais de atrito, configurações de biela, configurações de pistão e estrutura geral do mecanismo de compressão.

2. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE PATENTES

A patente de Vollrath, I. Biela bi-partida para compressor hermético alternativo. PI9304034-2A. 1995, da empresa EMBRACO, propõe uma nova configuração de biela para compressores herméticos de refrigeração, sendo a biela bi-partida. Para se obter melhor performance do compressor é importante que, mecanicamente, as peças com movimento relativo apresentem um perfeito ajuste de geometrias, evitando vazamentos, desgastes e minimizando atritos que conduzem a uma perda de rendimento volumétrico. O inventor apresenta diversas propostas de patentes que visaram solucionar a montagem de bielas bipartidas, em função do tamanho reduzido dos componentes e do espaço exíguo para montagem do conjunto pistão-biela-pino excêntrico. A maioria das soluções anteriormente apresentadas previam a utilização de pinos nas articulações da biela, porém tais soluções envolvem custos elevados de fabricação devido à precisão requerida para os componentes e dificuldades de montagem, além de não impedir o aparecimento de esforços desgastantes sobre a biela, decorrentes de desvios dimensionais. A figura 6 apresenta a biela bi-partida proposta, indicando as duas partes da biela e o elemento de engate.

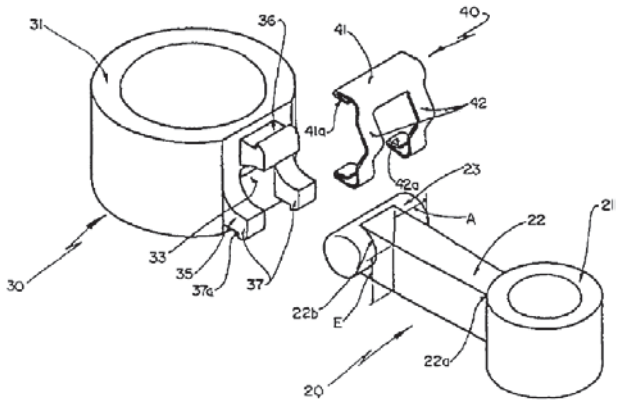


Figura 6. Proposta de biela bi-partida com elemento de engate.

A biela é articulada em um plano comum aos dois olhais (31 e 21) e ao eixo geométrico da haste da biela, rígida em um plano ortogonal ao referido plano diametral comum, de modo a poder absorver desvios dimensionais no posicionamento relativo das peças conectadas à biela e que permita uma montagem simples e rápida. Os compressores comercializados atualmente utilizam biela em peça única inteiriça.

A patente de Thomsen, J. Connecting rod for a hermetic refrigerating compressor. WO 99/15799. 1999, representando a empresa Danfoss, propõe a redução do desgaste no mancal de conexão da biela com o eixo (conexão 2) mediante minimização das tensões de compressão na biela através da confecção de um furo passante próximo à conexão da biela com o eixo, como mostra a figura 7. O furo passante localiza-se na haste da biela. O mesmo causa a deflexão das tensões compressivas, sendo distribuídas em uma seção maior da superfície do eixo. O inventor afirma que o centro do furo deve se situar entre 15 a 30% do diâmetro da conexão menor da biela (conexão 1) e que o diâmetro do furo seja de 5 a 15% do diâmetro da conexão 1. Isto alivia as tensões de compressão sem causar a formação de novos picos de pressão à medida que a distância ao plano de simetria aumenta.

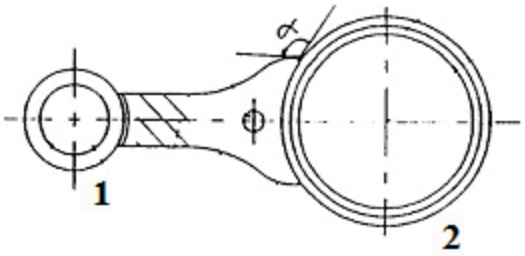


Figura 7. Proposta de biela com furo passante em seu corpo.

Na grande maioria das aplicações em compressores herméticos o corpo da biela não é vazado. A seção de conexão entre o eixo e a biela (conexão 2) é um dos principais pontos de atrito e desgaste em compressores, já que esta região trabalha sob um regime de lubrificação de contorno durante a partida do compressor (Na et al., 1998; Garland e Hadfield, 2005; Ciantar et al., 1999).

A patente de Kueon, Y.S. Oil pickup apparatus for a hermetic compressor. US0010573A1. 2003, propõe diversas configurações para o impelidor da bomba de óleo do cárter do compressor hermético. São apresentadas alternativas que visam melhorar o transporte de óleo até os pares de atrito, ou seja, reduzindo o tempo de escalada do lubrificante. O inventor sugere quatro geometrias de impelidores de

modo a proporcionar uma maior condição de turbulência no cárter, proporcionando uma maior capacidade de carreamento de lubrificante. A figura 8 apresenta a configuração tradicional do mecanismo de compressão utilizado em compressores herméticos e as propostas de impelidores.

Resultados de simulação computacional utilizando o software Fluent obtidos por Luckmann et al. (2009) indicam um tempo de escalada de cerca de 0,6 s para uma configuração comercial de compressor hermético que opera com o R134a. Como forma de validação seria interessante a realização de experimentos ou simulações computacionais utilizando estas novas geometrias de impelidores de modo a quantificar o tempo de escalada do óleo.

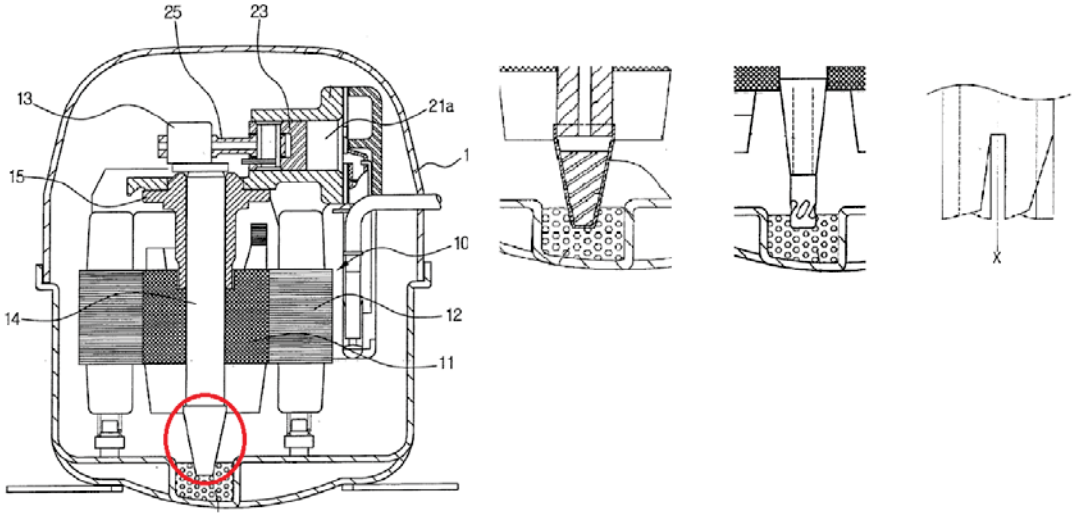


Figura 8. Configuração interna do mecanismo de compressão e geometrias de impelidores.

O inventor propõe ainda uma nova arquitetura interna para o compressor hermético, como mostra a figura 9. Observa-se que o cilindro e o mecanismo biela-manivela-pistão se encontra na parte inferior do compressor, mais próximo ao cárter do mesmo. Tal solução permite que a seção de atrito entre pistão e cilindro seja atendida mais rapidamente com o fornecimento de óleo além da seção de conexão entre eixo e biela. Estas regiões são as mais suscetíveis a altos índices de atrito e desgaste durante operação, principalmente durante as partidas e paradas do compressor (Na et al., 1998; Garland e Hadfield, 2005; Ciantar et al., 1999).

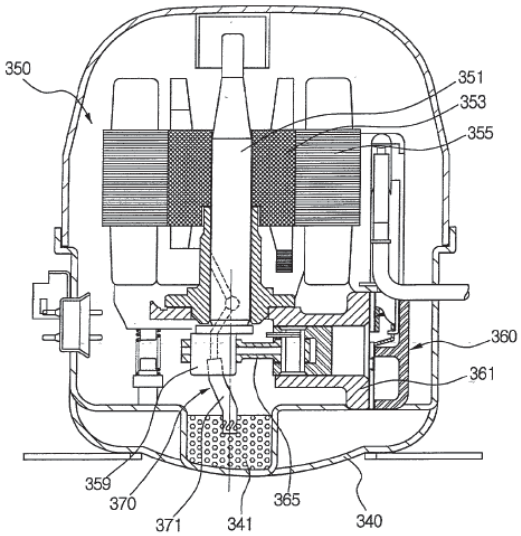


Figura 9. Proposta de nova arquitetura interna de compressor hermético, com mecanismo biela-manivelapistão próximo ao cárter.

A patente de Tureso, J.P. Pino em aço sinterizado para pistão de compressor hermético utilizado em refrigeradores, freezers e unidades condensadoras. BRPI0802069-8A2. 2010, representando a empresa Tecumseh do Brasil LTDA., propõe a utilização do método de sinterização do aço em pó para produção do pino que conecta a biela ao pistão. O inventor afirma que tal método de fabricação é muito mais econômico que os tradicionais. Além disso, por ser feito de um material sinterizado, o referido pino pode reter óleo dentro das porosidades características deste tipo de material, o que permite contribuir eficazmente no processo de lubrificação do equipamento onde esteja aplicado. Acrescenta-se ainda a possibilidade do pino receber um tratamento de nitretação que resulta na formação de uma camada branca superficial que auxilia na resistência ao desgaste das partes móveis do conjunto a que pertence, ou seja, da biela e pistão a ele acoplados. A mistura para composição pode ser simples, apenas pó de ferro ou na forma de mistura de ferro, pó de grafite, pó de sulfeto de manganês e elementos de liga, tais como pó de cobre e níquel.

Na aplicação de compressores herméticos o material comumente empregado para o pino de conexão entre pistão e biela é o aço ABNT 52100 (DIN 100Cr6) com cerca de 1,56% de cromo, também utilizado em rolamentos de esferas. Este aço é temperado e revenido para sua aplicação.

A proposta do inventor é a de se utilizar mancais porosos ou auto-lubrificantes, que se trata de um metal contendo grafita, óleo ou graxa. A seção de conexão entre pino e pistão juntamente com as paredes do cilindro são as últimas a receberem o óleo de lubrificação a partir do funcionamento do compressor, desta forma, operam durante um tempo maior sob a condição de contato metal-metal e sob a lubrificação de contorno, principalmente durante as partidas do compressor (Na et al., 1998; Garland e Hadfield, 2005; Ciantar et al., 1999).

Resultados obtidos têm mostrado que o uso de materiais porosos mudou bastante as características de atrito e os mecanismos de desgaste além de reduzir a resistência ao movimento e a perda por desgaste. No entanto, as propriedades mecânicas são fortemente relacionadas à porosidade do material (Gradzka- Dahlke et al., 2007). A elevada resistência à fadiga é atribuído de forma significativa à baixa porosidade total, agrupamento e arredondamento dos poros. Por outro lado, grandes poros interligados são necessários do ponto de vista da permeabilidade e propriedades tribológicas.

3. CONCLUSÕES

As perdas por atrito estão entre os principais fatores que determinam a eficiência de compressores. Elas não unicamente aumentam o consumo de energia, mas podem originar desgaste no compressor, reduzindo sua vida útil. Este fator é agora atribuído à ecologia da mesma forma que o consumo de energia.

As características de lubrificação são críticas para a performance do sistema, particularmente devido às asperezas entre as partes móveis dos mancais e pistão-cilindro, que podem ocasionar contato entre as partes.

Foram analisados os principais parâmetros que influenciam nas características de atrito, desgaste e lubrificação interna do compressor, que são os parâmetros cinemáticos e dinâmicos, estruturais e de materiais sob o ponto de vista das patentes que são sugeridas nas bases nacionais e internacionais.

Algumas metodologias de projeto de compressores herméticos são sugeridas nas patentes:

a) Utilização de biela bi-partida.
b) Utilização de biela inteiriça com um furo em seu corpo, com base nos diâmetros de seus olhais, de modo a reduzir as tensões compressivas na seção de montagem eixo-biela.
c) Modificações na arquitetura interna do mecanismo de compressão, com inversão da posição do cilindro, sendo localizado próximo ao cárter do mesmo, melhorando assim as condições de lubrificação através da redução do tempo de escalada do óleo.
d) Novas geometrias de impelidores para a bomba de óleo. De modo a proporcionar maior condição de turbulência do óleo durante o transporte do cárter até os pares em atrito.
e) Utilização de mancais porosos (auto-lubrificantes). Propõe-se o uso do pino do pistão fabricado por sinterização. Resultados obtidos têm mostrado que o uso de materiais porosos mudou bastante as características de atrito e os mecanismos de desgaste além de reduzir a resistência ao movimento e a perda por desgaste.

Neste sentido, as patentes têm buscado alternativas para diminuição das perdas por atrito e desgaste que ocorrem em compressores herméticos. Foi constatado um maior número de patentes relacionadas aos parâmetros de materiais e estruturais. Parâmetros cinemáticos e dinâmicos que envolvem o funcionamento do compressor não têm recebido a devida atenção sob a ótica das patentes.

REFERÊNCIAS BILIOGRÁFICAS

CIANTAR, C., HADFIELD, M., SMITH, A.M., SWALLOW, A. **The influence of lubricant viscosity on the wear of hermetic compressor components in HFC-134a environments.** Wear 236 (1999). 1–8

CHO, I.S., JUNG, J.Y. **Lubrication characteristics of a rotary compressor used for refrigeration and air-conditioning systems (the influence of alternative refrigerants)**. Journal of Mechanical Science and Technology 24 (4) (2010) 851-856.

DAGILIS, V., VAITKUS, L. **Experimental investigations and analysis of compressor´s friction losses**. Mechanika Nr.5 (79) 28-35. 2009.

GAGG, C.R., LEWIS, P.R. **Wear as a product failure mechanism – Overview and case studies**. Engineering Failure Analysis 14 (2007) 1618-1640.

GARLAND, N.P., HADFIELD, M. **Environmental implications of hydrocarbon refrigerants applied to the hermetic compressor.** Materials and Design 26 (2005) 578–586.

Gradzka-Dahlke, M., Dabrowski, J.R., Dabrowski, B. **Characteristic of the porous 316 stainless steel for the friction element of prosthetic joint.** Wear 263 (2007) 1023–1029.

KUEON, Y.S. **Oil pickup apparatus for a hermetic compressor**. US0010573A1. 2003.

SARIIBRAHIMOGLU, K., KIZIL, H., AKSIT, M.F., EFEOGLU, I., KERPICCI, H. **Effect of R600a on tribological behavior of sintered steel under starved lubrication.** Tribology International 43 (2010) 1054–1058.

LUCKMANN, A.J., ALVES, M.V.C., BARBOSA, J.R.J. **Analysis of oil pumping in a reciprocating compressor.** Applied Thermal Engineering 29 (2009) 3118-3123.

NA, B.C., CHUN, K.J., HAN, D.C. **A tribological study of refrigeration oils under HFC-134a environment.** Tribology International Vol. 30, No. 9, pp. 707–716, 1997.

PRATA, A.T., BARBOSA JR., J.R. **Role of the thermodynamics, heat transfer and fluid mechanics of lubricant oil in hermetic reciprocating compressors**. Heat Transfer Engineering 30 (7) (2009) 533– 548.

THOMSEN, J. **Connecting rod for a hermetic refrigerating compressor**. WO 99/15799. 1999.

TURESO, J.P. **Pino em aço sinterizado para pistão de compressor hermético utilizado em refrigeradores, freezers e unidades condensadoras**. BRPI0802069-8A2. 2010.

ZMITROWICZ, A. **Wear patterns and laws of wear – a review**. Jornal of Theoretical and Applied Mechanics 44,2, pp.219-253. 2006.

VOLLRATH, I. **Biela bi-partida para compressor hermético alternativo**. PI9304034-2A. 1995.

AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIA DE ESTABILIZAÇÃO TRANSVERSAL DE EMBARCAÇÕES REGIONAIS

F. J. A. Soares[1] e M.N. Rylo[2]
[1]Instituto Federal do Amazonas – Campus Manaus Distrito Industrial e [2]Instituto Federal do Amazonas – Campus Manaus Sede
acadaf@gmail.com – mnrylo@gmail.com

RESUMO

O tombamento de embarcações pode ser causado por diversos fatores, entretanto a instabilidade transversal é o parâmetro que causa o maior número de incidentes. Na região amazônica as embarcações apresentam um papel fundamental para o transporte de cargas e passageiros. Infelizmente inúmeros acidentes ocorrem anualmente. Em busca de proporcionar um segurança maior para esse meio de transporte inúmeras pesquisas são feitas com o intuito de propor soluções para os problemas de instabilidade. O presente artigo apresenta a análise de um método estático, o uso de flutuadores, para atenuar os problemas que envolvam a estabilidade de uma embarcação. Cada flutuador irá aumentar o momento restaurador, ou seja, atuarão fazendo com que seja necessária uma maior inclinação da embarcação para que ocorra um tombamento. Para a coleta dos dados foram realizados ensaios com um barco modelo, utilizando-se um inclinômetro e sensor de força, ambos forneceram os dados necessários para a criação da curva de estabilidade.

Palavras-chave: estabilização, estabilidade transversal, embarcações, flutuadores.

1. INTRODUÇÃO

A história nos mostra que desde os primórdios da ocupação da Região Amazônica o transporte de pessoas e cargas é realizado através de transportes fluviais. Grande parte dessas embarcações são construídas de maneira artesanal, ou seja, não existe uma formalidade entre os construtores, esse costume peculiar faz com que os conhecimentos para a concepção e fabricação de barcos sejam passados oralmente.

Na maioria das vezes as embarcações são fabricadas antes mesmo da existência das linhas de projeto. Devido a essa prática irregular tais meios de transporte estão sujeitos a problemas, que poderiam ser evitados, como naufrágio, tombamentos e etc. A autoridade naval, Marinha do Brasil, responsável pelas normas de segurança das embarcações, registrou alguns dados estatísticos relacionados ao acidentes e fatos da navegação no período de 2001 – 2003. Constatou que dentre os acidentes de navegação (abalroamentos, naufrágios, colisões, emborcamentos, explosões e incêndios), o naufrágio foi o mais letal com o índice de 31% das fatalidades, atingindo principalmente barcos regionais de transporte de carga e passageiros.

A partir desses dados podemos notar que medidas preventivas devem ser tomadas para evitar que tais sinistros possam ocorrer novamente. Uma das principais causas destes acidentes é a perda da estabilidade transversal. Segundo Clayton e Bishop (1982), a estabilidade transversal corresponde à capacidade da embarcação de atenuar as oscilações transversais as quais está sendo submetida por operar em ambiente dinâmico, sendo que se os limites de estabilidade transversal são ultrapassados, ocorre o tombamento da embarcação.

Este estudo tem por objetivo primário avaliar estratégias estáticas para atenuar os problemas que causam instabilidade transversal das embarcações regionais. O método estático a ser analisado neste projeto, é a utilização de flutuadores. Comumente conhecidas como bóias, eles possuem um baixo custo de construção, fácil manuseio e instalação, tornando-se viáveis para utilização em modelos e protótipos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Definições e principais dimensões

Como qualquer outro campo da engenharia, a engenharia naval possui seu próprio vocabulário composto por termos técnicos os quais serão importantes para definir e nos auxiliar no decorrer do projeto.

Quando uma embarcação é projetada alguns detalhes devem ser vistos com maior atenção, são eles: o calado de projeto (*load waterline*), para Tupper (2004) o calado de projeto corresponde à altura entre a quilha e a linha de água ao qual o barco foi projetado para flutuar, a boca (*beam*) que é definido como a maior largura da embarcação, e o comprimento entre as perpendiculares (*lenght between perpendiculars*). Por meio dessas dimensões é possível calcular o deslocamento de água que a embarcação causará quando estiver em atividade.

2.2 Coeficientes de forma

Durante o processo de projeto de uma embarcação é necessário classificar o tipo de casco que esta sendo projetado, para assim relacionar sua forma com propriedades hidrodinâmicas. Para Biran (2003) o método mais importante para a classificação dos cascos é a utilização dos coeficientes de forma, que são números adimensionais variando de 0 a 1, são eles: coeficiente de bloco (block coefficient)

designado por Cb; o coeficiente de meio barco (midship coefficient); o coeficiente prismático (prismatic coefficient); o coeficiente volumétrico (volumetric coefficient), entre outros.

$$Cb = \frac{\nabla}{LBT} \qquad \text{[Eq. 01]}$$

Por meio desse coeficiente é possível calcular o deslocamento de água de uma embarcação, seja ela um modelo ou um protótipo.

Esses coeficientes são de extrema importância uma vez que são os mesmos para modelos ou protótipos. A embarcação utilizada nesse projeto foi fabricada com escala 1:25, e possui os seguintes valores (ver Tabela 1).

Tabela 1 – Coeficientes estáticos e deslocamento de fluido

	Coeficiente de Bloco (Cb)	Deslocamento (m³)
Mínimo	0,200	0,0049
Máximo	0,635	0,0157
Médio	0,480	0,0034

Considerando o Cb máximo fabricamos flutuadores com volumes iguais a 5%, 10%, 15% e 20% do deslocamento total da embarcação, estes flutuadores tem por finalidade aumentar o momento necessário para que ocorra o naufrágio do barco.

2.3 Flutuabilidade e estabilidade inicial

Um corpo flutuando livremente sobre a superfície da água estará submetido a uma força devido à ação da aceleração da gravidade. Para que o corpo esteja em equilíbrio, deverá haver uma força com a mesma magnitude da força gravitacional, na mesma linha de ação, entretanto deverá se opor a mesma. Essa força, em sentido oposto é gerada pela pressão hidrostática que atua no objeto.

A flutuabilidade não é o único parâmetro necessário para o projeto de uma embarcação. Para Clayton e Bishop (1982) “Para determinar se um veiculo marinho será capaz de manter a condição estacionária e vertical [...] é necessário avaliar as forças que atuam na direção vertical [...].” A estabilidade é a propriedade ou tendência de se manter um estado de equilíbrio. Tal propriedade é de vital importância para todo e qualquer tipo de embarcação, pois fatores externos, como os ventos e o balanço das águas agem como forças de distúrbio que desviam o barco da condição de equilíbrio, e, dependendo de suas intensidades, podem provocar naufrágios.

Literaturas tendem a classificar os tipos de estabilidade: para Biran (2003) o equilíbrio é estável quanto o metacentro está situado acima do centro de gravidade (ver Figura 1); Neutra, quando a posição metacêntrica coincide com o centro de gravidade; e a Instável quando o CG está acima do ponto que define o metacentro.

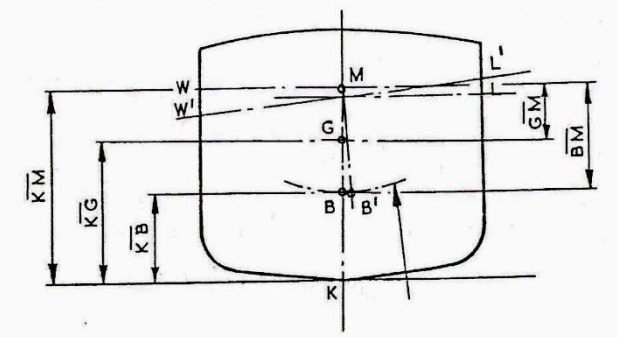


Figura 1- Estabilidade inicial estável

3. METODOLOGIA

3.1 Flutuadores

Visando a otimizar a segurança das embarcações regionais diversos métodos para aumentar a estabilidade transversal são utilizados, esses métodos são classificados como passivos ou ativos. O método estudado nesse projeto é passivo, onde flutuadores projetados com seu volume proporcional ao deslocamento do casco foram instaladas nas laterais do barco modelo, tendo por objetivo aumentar a força necessária para causar o tombamento da embarcação.

O barco modelo foi construído a partir do plano de linhas de uma embarcação regional amazônica. Os flutuadores foram montados logo acima da linha d'água, de modo que não aumentassem o arrasto de deslocamento longitudinal da embarcação. Nesta concepção os flutuadores funcionam como um reservatório de flutuabilidade, caso ocorra o tombamento do barco modelo.

Para a modelagem dos flutuadores, obtemos, a partir do Cb máximo o deslocamento de fluido do casco da embarcação, para o calado de projeto. A partir dos dados levantados foram utilizados tubos PVC, com os diâmetros comerciais de 25,4 mm, 38,1 mm, e 50,8mm. A partir desses diâmetros podemos estimar o tamanho de cada tubo (ver Tabela 2).

Tabela 2 – Comprimento dos flutuadores

Diâmetro do flutuador (mm)	Comprimento dos tubos			
	5%	10%	15%	20%
25,4	1,54 m	3,09 m	4,63 m	6,20 m
38,1	0,688 m	1,38 m	2,06 m	2,75 m
50,8	0,387 m	0,775 m	1,16 m	1,54 m

Os valores obtidos correspondem a um único tubo, entretanto para manter a distribuição de peso simétrica, é necessário que existam flutuadores em ambos os lados da embarcação, um em cada lado do modelo, cada flutuador possuirá a metade do deslocamento acima citado.

3.2 Dispositivo para realização do ensaio

O tombamento de um navio ocorre por diversos motivos, porem a causa estudada neste projeto é a falta de estabilidade transversal. Quando um barco, seja este atracado ou em movimento o mesmo

estará sujeito a forças laterais e para se manter estável a altura metacêntrica deverá se manter acima do centro de gravidade.

Durante a realização desta fase do projeto foi criado um dispositivo capaz de mostrar a força necessária para causar uma alteração no angulo horizontal da embarcação. O dispositivo é formado por um conjunto de polias e massas dispostos sobre uma balança que mostrará o peso exercido sobre a embarcação (ver Figura 2).

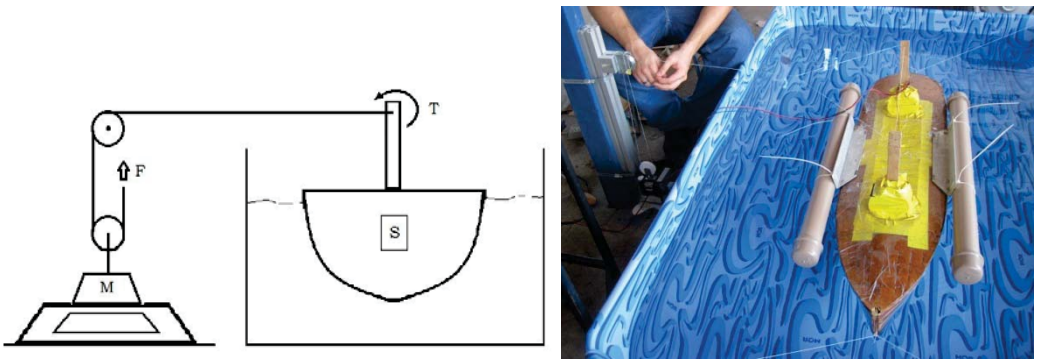


Figura 2 – Dispositivo para realização do ensaio

Uma força externa F, agindo sobre um cabo que passa por um conjunto de roldanas até chegar a uma barra presa ao barco modelo, produzirá um torque T sobre o barco modelo, em reação surgirá o momento restaurador GZ. Uma balança medirá a força peso de uma massa M, utilizada para tencionar o cabo. O momento restaurador GZ varia em função do ângulo de inclinação. Esta variação é medida pela mudança da força peso. O barco é inclinado progressivamente até tombar, o que ocorre quando o momento restaurador tende a zero.

3.3 Sensores de inclinação

De forma a assegurar uma menor margem de erro, foram utilizados sensores de inclinação. Segundo a Metrolog, sensores de inclinação ou inclinômetros, são dispositivos utilizados para a medição de ângulos ou chaves acionadas por inclinação. De forma geral, possuem um funcionamento que consiste na geração de sinais elétricos proporcionais ao seu ângulo de inclinação.

O inclinômetro se encontra dentro da embarcação e está disposto de forma que não irá alterar o centro de gravidade do barco modelo. Para o projeto foi escolhido o modelo AccuStar I da empresa Metrolog. Segundo a Metrolog, este modelo tem como características: campo de medição +/- 60º, alimentação de 5 a 15 Vdc.

3.4 Descrição do ensaio

O ensaio para avaliar o braço do momento restaurador é simples, consiste em aplicar uma força até que a mesma cause o tombamento da embarcação. Para calcular o ângulo de inclinação, o sensor irá gerar um valor de tensão que será lido e convertido para graus esse valor é associado a uma força que é medida simultaneamente em uma balança. Para evitar alteração nos valores do momento restaurador e assegurar uma maior precisão na coleta dos dados, o barco é amarrado de maneira para que somente exista um grau de liberdade, correspondente a rotação transversal. Também é feito logo após cada ensaio uma verificação se o peso da embarcação foi alterado, ou seja, se existe água no interior da embarcação.

Os testes iniciaram com sem os flutuadores, para verificar a curva de estabilidade do barco modelo. Em seguida foram feitos os ensaios com os flutuadores de 5% 10% e 15%. A partir dos dados coletados em nossos ensaios foi possível fazer uma análise sobre a eficiência da utilização de flutuadores.

De maneira preliminar um estudo das forças exercidas pelos flutuadores nos mostra que as mesmas criam um momento restaurador adicional, esse momento (ver Figura 3) é responsável pela atenuação na instabilidade transversal gerada por forças que atuam na lateral da embarcação (ver Tabela 3).

Tabela 3 – Momento adicional

	Momento restaurador (N.m)			
	5%	**10%**	**15%**	**20%**
Momento restaurador	1, 334	2, 832	4, 182	5, 350

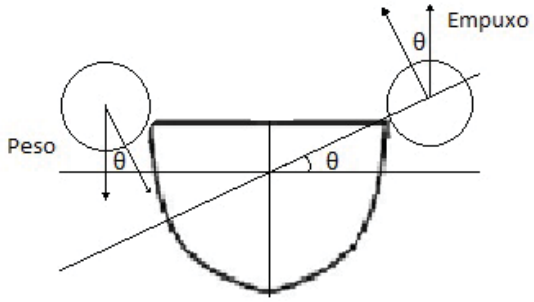


Figura 3 – Momento restaurador do modelo

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Inicialmente foi levantada a curva de estabilidade estática para o barco modelo sem o uso de flutuadores, (ver Figura 4). Este ensaio foi feito utilizando-se um raio laser, montado sobre o convés do barco e projetado sobre uma superfície externa ao tanque de provas. A cada inclinação do barco, era lida a altura da projeção do raio laser sobre a superfície e o ângulo de inclinação foi obtido por métodos convencionais de triângulos retângulos.

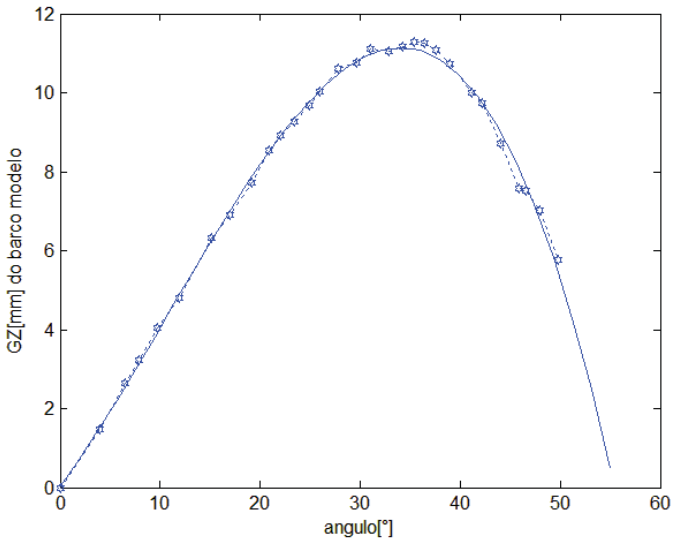


Figura 4 – Curva de estabilidade estática sem flutuadores

A seguir são apresentadas as curvas de estabilidade estática, obtidas para o barco modelo com o emprego de flutuadores. Estes foram fixados ao barco modelo em pares, instalados simetricamente nas laterais do convés. Desta forma, deve-se salientar que nas curvas levantadas, o ganho de momento restaurador introduzido pelos flutuadores na área sob a curva corresponde ao empuxo gerado por apenas um dos flutuadores. Assim, para o par de flutuadores com 5% de deslocamento do calado, apenas um flutuador com 2,5% de deslocamento do calado foi imerso na água progressivamente, até que o barco modelo viesse a tombar.

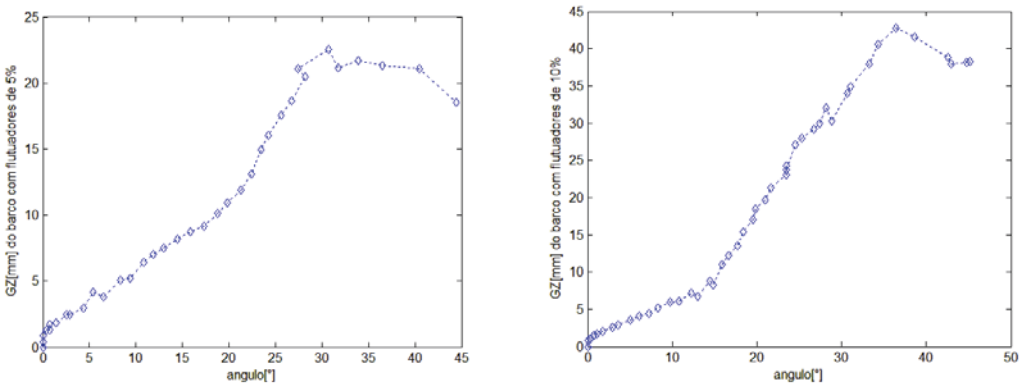


Figura 5 – Curva de estabilidade estática para flutuador imerso de 2,5% e de 5%

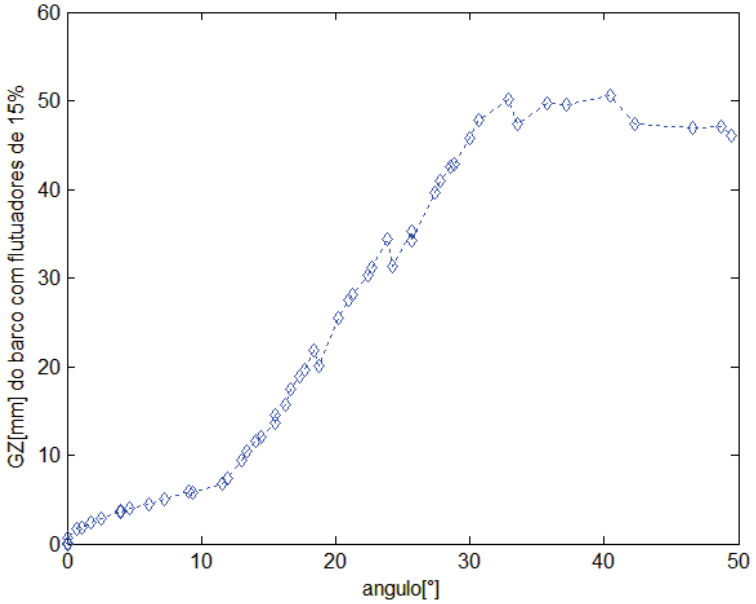


Figura 6 – Curva de estabilidade estática para flutuador imerso de 7,5%

A sobreposição de curvas de estabilidades (ver Figura 7). Nela se verifica a presença de uma curva com flutuadores com 20% de deslocamento. Este flutuador foi descartado em outros ensaios por seu volume excessivo, não indicado para uma aplicação real.

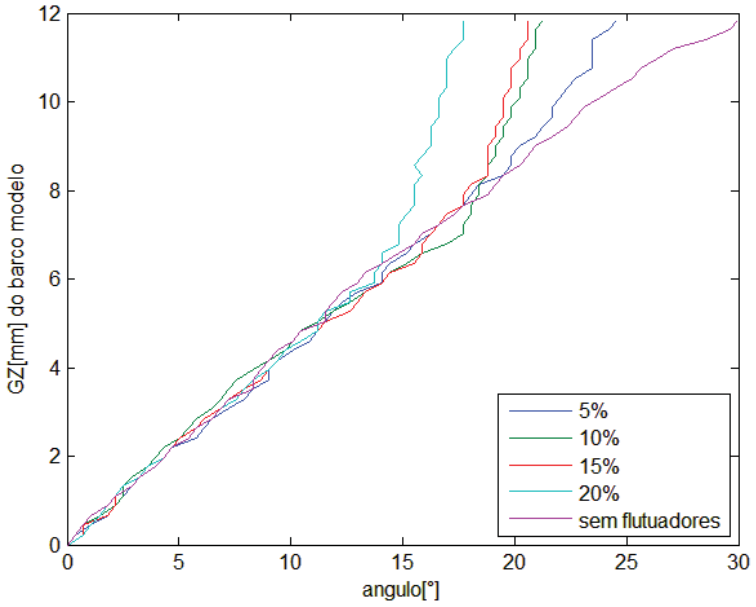


Figura 7 – Curva parcial da estabilidade estática

Pode-se calcular a relação percentual entre os braços de restauração máximos do barco, em relação ao braço de restauração sem os flutuadores. Se cruzarmos estes valores com o volume dos flutuadores obtemos o seguinte gráfico (ver Figura 8).

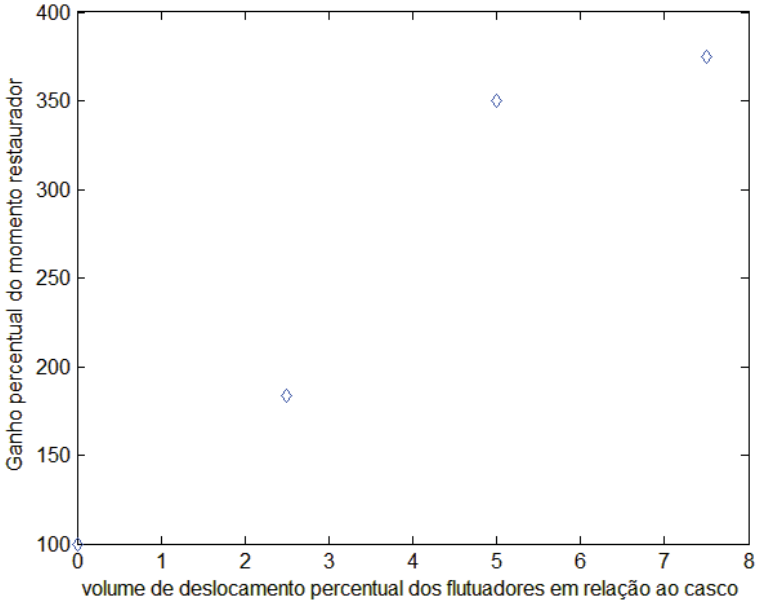


Figura 8 – Ganho percentual devido a utilização de flutuadores

5. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

A análise visual das curvas de estabilidade estática com o uso de flutuadores, em comparação com a curva de estabilidade estática sem o uso de flutuadores, permite afirmar que a sua utilização produziu um aumento progressivo do momento restaurador, e este aumento é maior, à medida que o deslocamento dos flutuadores aumenta. Este era um resultado esperado, entretanto as curvas levantadas permitem estimar o ganho proporcional de momento em relação ao volume dos flutuadores.

Na figura 7 pode-se ver a superposição de diversos ensaios com flutuadores de diferentes volumes, indicados na legenda. Observa-se que todas as curvas têm comportamento similar, até uma determinada região na qual a curva sem o uso de flutuadores diminui sua inclinação e as demais curvas apresentam um aumento da inclinação, produzido pelo empuxo adicional dos flutuadores.

A comparação entre os ganhos relativos dos braços de restauração e o volume dos flutuadores pode ser vista na figura 8. Desprezando os flutuadores de 15% e 10% e considerando apenas o de 5% pode-se afirmar que um flutuador lateral com volume de 2,5% do deslocamento do casco, ao ser inserido na água gera um aumento no braço de restauração da ordem de 80% no barco modelo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentado um estudo preliminar da estabilidade transversal de embarcações amazônicas, no qual se utilizou o modelo construído em escala 1:25 de uma embarcação típica a qual foi submetida a ensaios de estabilidade estática utilizando flutuadores como um método de passivos de ganho de estabilidade.

A utilização de flutuadores leva ao aumento da área da curva de estabilidade, notadamente do momento restaurador máximo. Este aumento está diretamente relacionado ao volume do flutuador. Embora este seja um resultado previsível, este trabalho permite relacionar o ganho do momento em relação com o volume do flutuador.

Verificou-se um ganho considerável, da ordem de 80% com a utilização de flutuadores de 2,5% nas laterais do convés. Este resultado é particularmente animador, considerando a simplicidade construtiva do dispositivo e o ganho em termos de segurança de navegação.

Outros métodos de estabilidade estática e dinâmica devem ser avaliados em trabalhos futuros.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

À FAPEAM pela concessão de bolsa, que viabilizou este trabalho. Ao CNPq pelo financiamento dos equipamentos utilizados, que permitiram a realização desta pesquisa. A diretoria do IFAM – CMDI pelo apoio institucional.

REFERÊNCIAS

BIRAN. A. B. **Ship Hidrostatics and Stability**. Oxford: Elsevier Ltd., 2003.

CLAYTON, B. R.; BISHOP, R. E. D. **Mechanics of Marine Vehicles**. Bristol: J. W. Arrowsmith Ltd., 1982.

GUIMARÃES, L.; SOARES, F.; VIDAL, W. **Estudo de Estabilidade Transversal em Embarcações Amazônicas**. In: CONNEPI, V, Maceió, 2010

LAARHOVEN. B. J. H. **Stability Analisys of Parametric Roll Resonance**. Eindhoven University Technology, Department Mechanical Engineering. Eindhoven, 2009.

METROLOG CONTROLES DE MEDIÇÃO. **Inclinômetros**. Disponível em: <http://www.metrolog.net/transdutores/inclino.php?lang=ptbr>. Acesso em: 21 ago. 2011

PEREZ, Tristan. **Ship Motion Control – Course Keeping and Roll Stabilization Using Rudder and Fins**. Springer-Verlag. London. 2005.

SAIMOLESCU, G.; RADU, S. **Stabilisers and Stabiling Systems on Ships**. In: Constantin Brâncusi University, Engineering Faculty, International Conference, 8th, Târgu Jiu, 2002.

TUPPER. E. C. Introduction to Naval Architecture. 4th ed. Oxford: Elsevier Ltd., 2004.

AVALIÇÃO DO POTÊNCIAL EÓLICO NO PERÍODO DE BAIXOS VENTOS NO IFCE-CAMPUS MARACANAÚ

J. W. N. JR. Autor[1] ; L. L. A. Autor[2]; A. S. D. Autor[3]; F. F. S. M. Autor[4]
[1, 2, 3, 4]Instituto Federal do Ceará - Campus Maracanaú
email: [1] wilsonjunior.ifce@gmail.com, [2] luanalemos118@gmail.com, [3]asdias7@gmail.com, [4] ffsmatos@ifce.edu.br

RESUMO

A utilização de fontes renováveis de energia se torna cada vez mais necessária na sociedade. Um dos exemplos dessa utilização é a energia eólica. No presente artigo, é apresentada uma análise estatística de medições do vento durante um período de nove meses. Para tal, uma estação meteorológica foi instalada no Campus do IFCE de Maracanaú, região metropolitana de Fortaleza/CE. O resultado da pesquisa permitiu fazer avaliações do potencial eólico do local, isto é, avaliar a direção e velocidade do vento média, assim como suas respectivas frequências de ocorrência no período de ventos baixos (fevereiro a maio). O projeto teve por finalidade realizar um estudo da viabilidade econômica da implementação de turbinas eólicas no Campus. Espera-se verificar a possibilidade de instalar uma turbina eólica de pequeno porte, assim como, eventualmente, suprir as necessidades de energia elétrica do Campus. O tratamento dos dados coletados foi feito com a ajuda do software WAsP. Por fim, uma extrapolação dessas medições foi calculada para o local de instalação da turbina eólica. Logo, obteve-se uma previsão da geração de energia que poderia ser alcançada por turbinas de pequeno porte.

Palavras-chave: Potencial eólico, velocidade e direção do vento, Maracanaú.

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, o vento constitui-se em uma das primeiras formas de energia aproveitadas pelo homem. Em tempos passados a sua força era empregada em moinhos de grãos e no bombeamento de água. Hoje, a energia dos ventos ou energia eólica é utilizada, com toda sofisticação que a moderna tecnologia permite, para geração de energia. Como consequência da crescente crise do petróleo, houve uma revolução da tecnologia de aproveitamento do vento que levou ao aparecimento dos atuais aerogeradores, capazes de produzir eletricidade a preços competitivos em relação às fontes tradicionais de energia (Duarte, 2004). Por outro lado, os maiores percentuais da geração de energia provem ainda do petróleo (Duarte, 2004). As grandes matrizes mundiais mostram forte dependência desse combustível, os quais levam milhares de anos para se formarem novamente. Significa que, uma vez consumidos não poderão ser repostos. Na contramão dos combustíveis fósseis, as energias renováveis, como a energia eólica, possuem capacidade de reposição rápida e podem servir eternamente aos propósitos energéticos.

Entre as tecnologias de energia "limpa", a força gerada pelo vento parece ser a mais promissora para o Brasil, embora requeira um grau relativamente alto de conhecimento técnico. Atualmente, é mais barata que outras fontes de energia renováveis, como a energia solar. A região nordeste e o estado do Ceará, em particular, dada às suas condições geográficas, oferecem grande potencial energético, ver mapa eólico na figura 1.

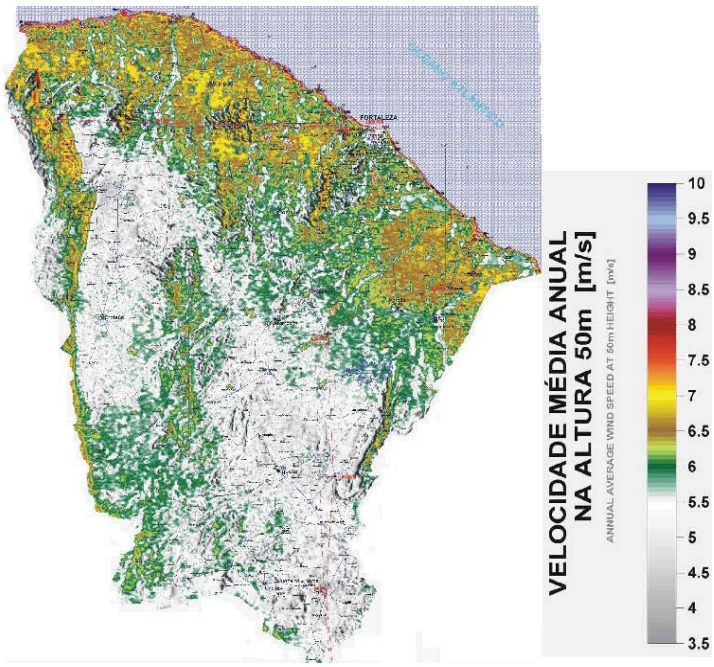


Figura 1- Ilustra a velocidade média anual no Ceará a 50m de altura

Através de uma avaliação da Fig. 1, pode-se chegar a um potencial energético que varia entre 500 e 750kW (Atlas do Potencial Eólico do Ceará, 2001). O mapa mostra os pontos de velocidade média do ano em todo o território do estado, destacando-se velocidades de ventos acima de 6 m/s no litoral cearense, o que trás boas perspectivas de potencial eólico disponível.

Nos últimos anos, vários estudos foram feitos para viabilizar sistemas eólicos de pequeno e médio porte integrados à prédios para auxiliar nos gastos com energia elétrica. Na Europa esta prática é mais comum. Para tal aplicação, levam-se em consideração vários fatores como: questão ambiental, segurança, grandes níveis de turbulência, ruídos e velocidades baixas, típicas de regiões urbanas (Wenzel, 2007).

O presente trabalho busca apresentar, através de embasamento técnico e teórico, um estudo simplificado das condições de ventos que ocorrem no período de intensas chuvas na cidade de Maracanaú, admitindo uma avaliação do potencial eólico nessa região durante o período de precipitações.

2. METODOLOGIA

Para medição dos dados do vento, foi instalado, num local previamente selecionado (ver Figura 2), um sistema anemométrico, na altura de 8.77m, em cima de um dos blocos do Campus (bloco da administração). Esse sistema teve como auxílio o programa computacional (BoxCar Pro) na coleta de dados dos ventos: velocidade, direção, temperatura, pressão, radiação e precipitações. O tratamento desses dados com uso do software (WAsP) possibilitou estimar o potencial eólico do local e avaliar as condições de operação da futura turbina eólica. Para isso, foram feitos cálculos para extrapolação do vento de 8,77 m para 50 m, onde será instalada a turbina. No cálculo foi considerado o comprimento de rugosidade de 0,03 m conforme procedimento descrito no item 2.2.

Figura 2- Localização da estação meteorológica no Campus IFCE-Maracanaú

2.1. Estação Meteorológica

A estação meteorológica (ver Figura 3) é um equipamento onde são efetuadas medições por meio de instrumentos específicos. Dotada de sensores eletrônicos para medição das variáveis: temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento, precipitação pluviométrica e o nível de radiação solar.

Figura 3-Estação Meteorológica

Figura 4-Anemômetro

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos através do anemômetro e biruta (ver Figuras 4), instrumentos agregados à estação para coleta de velocidade e direção de vento, respectivamente. O programa utilizado para realizar a coleta de dados da estação meteorológica foi o BoxCar Pro, que também permitiu salvar informações dos dados coletados em planilhas eletrônicas.

2.2. Parâmetro para extrapolação do vento

Segundo Manwell (2002, apud CAMELO,2010, p.2) , a lei logarítmica é um método matemático usado para estimar a velocidade do vento a uma determinada altura. A lei logarítmica é originada do estudo da camada limite em escoamentos de fluidos (Camelo, 2010). A equação (Eq. 01) determina a variação do vento no local, levando em consideração o comprimento (metros) de rugosidade do local e a altura que se quer extrapolar para avaliação do potencial eólico.

$$Vz = \mathrm{Vr}\,.\,\frac{\ln\left(\frac{Z}{Zo}\right)}{\ln\left(\frac{Zr}{Zo}\right)} \qquad \text{[Eq. 01]}$$

Onde Vz = Velocidade para altura Z; Vr = Velocidade medida na altura do anemômetro; Z= Altura de extrapolação; Zr = Altura do anemômetro; Zo =Comprimento da rugosidade do solo, descrito na Tabela 1.

Tabela-1 Classificação de superfície por classe de rugosidade

Zo [m]	**Características do terreno**	**Classe de rugosidade**
1,0	Cidades	
	Floresta	
0,50	Subúrbios	3
0,30	Barreiras de proteção	
0,20	Muitas árvores e/ou arbustos	
0,10	Fazenda com muitos obstáculos	2
0,05	Fazenda com poucos obstáculos	
	Fazenda com muitos poucos prédios, árvores, etc.	
0,03	Aeroportos com áreas de prédios e árvores	1
0,01	Aeroportos, rodovias, áreas	
$5x10^{-3}$	Terra nua (lisa)	
$1x10^{-3}$	Superfície com neve (lisa)	

$3x10^{-4}$	Superfície com areia (lisa)	0
$1x10^{-4}$	Mar, lagoas e lagos	

3. RESULTADOS

A direção dos ventos é apresentada pela rosa dos ventos (ver Figura 5), onde predominaram os ventos na direção nordeste e leste do município de Maracanaú, ocorrida nos meses de novembro de 2010 a julho de 2011. Verifica-se uma predominância de frequência dos ventos nas direções nordeste (15%) e leste (32,2%), com uma grande diferença na direção nordeste, onde as variações de velocidades dos ventos estão entre 2,0 – 6,0 m/s, enquanto que na direção leste essas variações estão entre 0,0 – 3,0 m/s.

Rosa dos ventos **Gráfico das frequências**

Figura 5-Distribuição da direção e intensidade dos ventos

Para verificar os dados medidos de velocidade do local, essas mesmas foram comparadas velocidades médias mensais com os da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), em que a empresa adquiriu dados de uma estação climatológica a uma altitude de 19,5 metros. Esses dados correspondem ao período do ano de 2002 na cidade de Fortaleza/CE. As velocidades médias registradas pela EMBRAPA são correlacionadas com médias históricas de ventos (1966-2002). Uma vez obtidos os dados dos ventos do local, aplicou-se a lei logarítmica (Eq. 01), para extrapolar as velocidades a uma altura de 50 m. No presente estudo, foram extrapolados os ventos médios calculados no Campus Maracanaú nos meses da coleta. Os resultados compreendidos nos meses avaliados indicam como mostrados na figura 6, que no período janeiro a julho a media de ventos do Campus é inferior a média histórica. Como podemos observar, durante o período chuvoso, que compreende os meses de fevereiro a maio, existe uma queda nos valores das médias de vento do IFCE-Maracanaú foram comparadas com os dados obtidos pela Embrapa e pela média histórica.

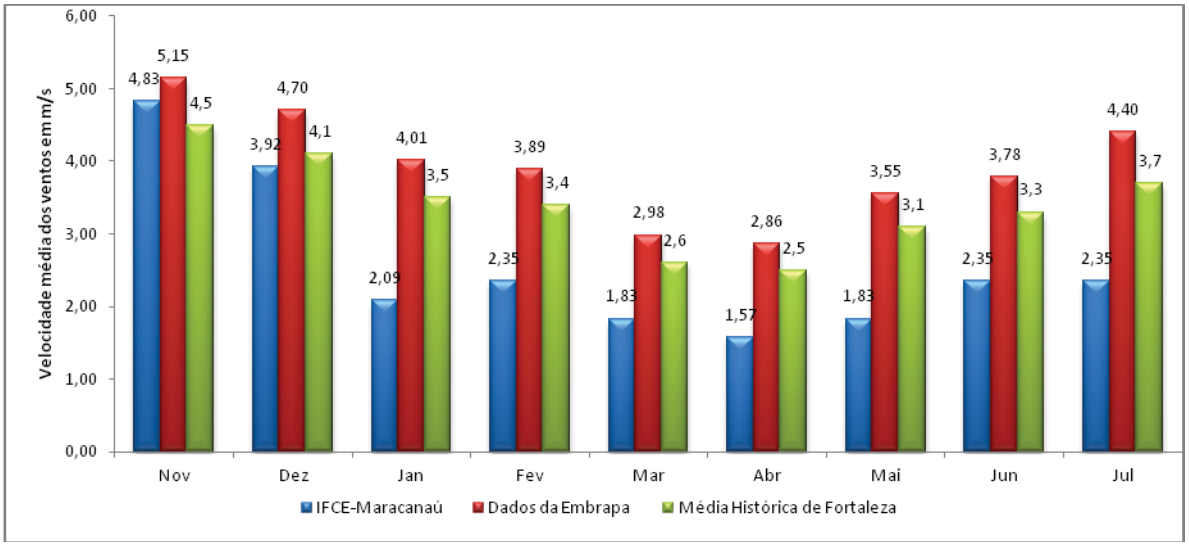


Figura 6- Velocidades médias de novembro a julho.

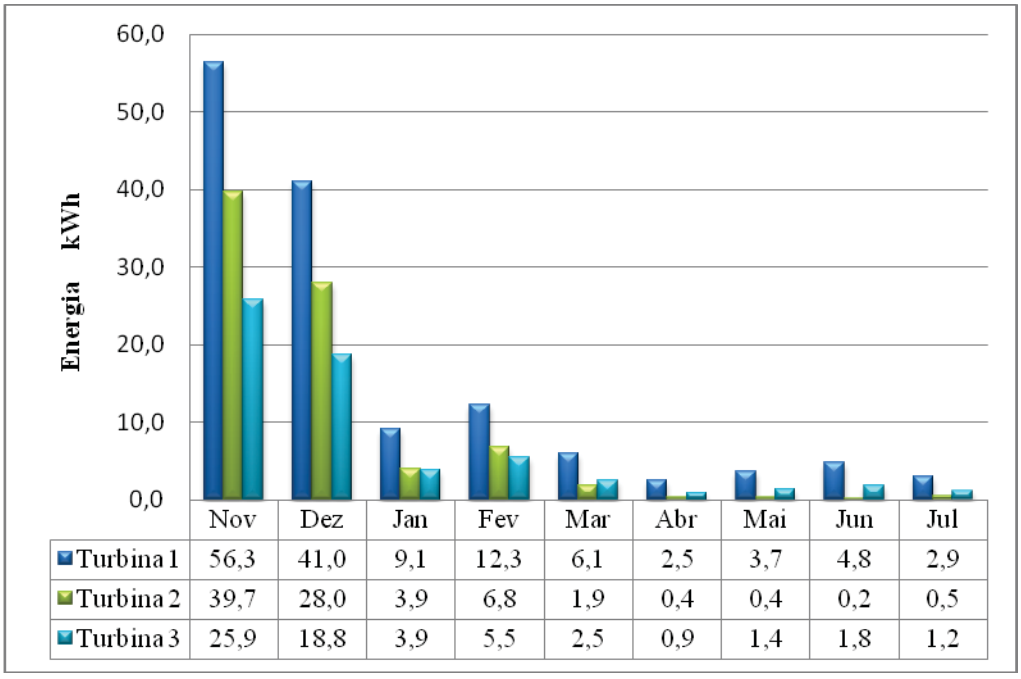
3.1. Estimativa de Energia

Utilizando-se o aplicativo Excel foram realizados cálculos da estimativa gerada no local com base nas frequências de vento e nas curvas de potência de três turbinas encontradas no mercado. As caracteristicas das turbinas avaliadas são mostradas na tabela 2.

Tabela 2- Dados específicos das turbinas (1), (2) e (3).

	Fabricante	Potência nominal (kW)	Diâmetro (m)
Turbina 1	ENERCON's E-48	800	48
Turbina 2	RRB ENERGY V47	500	47
Turbina 3	ENERCON's E-33	330	33,40

Pode-se observar na figura 7 existe uma queda significativa nos valores de energia gerada estimada a partir do mês de janeiro como consequencia direta dos menores índices de ventos medidos nesse periodo. A energia gerada estimada é decrescente ao longo dos meses.



	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
Turbina 1	56,3	41,0	9,1	12,3	6,1	2,5	3,7	4,8	2,9
Turbina 2	39,7	28,0	3,9	6,8	1,9	0,4	0,4	0,2	0,5
Turbina 3	25,9	18,8	3,9	5,5	2,5	0,9	1,4	1,8	1,2

Figura 7- Energia gerada (kWh) nos meses de novembro à julho para cada uma das turbinas (1), (2) e (3).

A turbina que apresentou melhores resultados foi Enercon E48 atigindo o valor máximo de geração de energia de 56,3 kWh no mês de novembro. Isso se deve ao fato dessa turbina possuir maior potencia nominal. O segundo melhor resultado apresentada foi a turbina RRB ENERGY V47 com um valor máximo de energia de 39,7 kWh. A terceira turbina foi que apresentou piores resultados atigindo apenas ovalor de 25,9kWh

Constata-se também um maior desempenho da turbina 1, que tem uma maior potência nominal, que é de 800 kW (ver Tabela 3).

4. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi avaliar as condições de baixos ventos, utilizando informações técnico-científicas confiáveis por meio do desenvolvimento de metodologias para levantamento de recursos de ventos com o uso de dados obtidos por meio de sensoriamento (estação metereológica) e cálculos numéricos. Essas bases de dados são extremamente úteis para o desenvolvimento de projetos de aproveitamento de recursos energéticos. Cálculos feitos pelo WAsP registraram velocidades médias nos meses medidos de 2,0 m/s e grandes variações de ventos nas direções leste e nordeste. Os resultados obtidos até o momento demonstram o potencial a serem estudados tanto com relação à disponibilidade quanto para o desenvolvimento e a continuidade das atividades de pesquisa nessa área. As velocidades médias mostram que os dados de ventos do local são relativamente baixos para a instalação de turbinas eólicas, contudo, esses dados são utilizados para fins demonstrativos. Existe a necessidade de coleta sistemática dos dados por um tempo maior, com o intuito de permitir um aperfeiçoamento da metodologia empregada e utilizado uma avaliação mais adequada da confiabilidade das informações. O projeto continuará com a coleta e tratamentos dos dados que também permitirá um estudo na estimativa de energia gerada do local.

REFERÊNCIAS:

CASTRO, R. M. G. Energias Renováveis e Produção Descentralizada**. Introdução à Energia Eólica**. 1 ed. 1, 2003. 35p.

CAMELO, H. N., DE MARIA, P. H, S., CARVALHO, P. C. M., PEREIRA, T. B. **Métodos de Extrapolação de Velocidade do Vento para Regiões Litorâneas do Nordeste Brasileiro**. XVI CBMET, Setembro 2010.

CHOU, S. C., CHAGAS, D. J., NETO, A. C. P., VENTURA. G. M., LYRA, A. A., PEREIRA, E. B. **Regime Eólico de Quatro Estações no Nordeste.** XIV CBMET, Novembro 2006.

DUARTE, H. N. M., KAEHLER, J. W. M. **Utilização da Energia Eólica em Sistemas Híbridos de Geração de Energia Visando Pequenas Comunidades**. Porto Alegre, Novembro 2004.

ENERCON WIND TURBINES (Aurich, DE). **Enercon E33 - 330kW:** catálogo. Alemanha.

ENERCON WIND TURBINES (Aurich, DE). **Enercon E48 - 800kW:** catálogo. Alemanha.

LIMA, J. B., CRISOSTOMO JUNIOR, R. R., AQUINO, F. C., BARRETO JUNIOR, J, H. C., AGUIAR, M. J. N., VIANA, T. V., AGUIAR, J. V. **Dados climatológicos: Estação de Fortaleza.** Série. Embrapa Agroindústria Tropical; Documento, 75, Fortaleza, 2003.

RRB ENERGY (Warrington, UK). **RRB Energy V47-500kW**: catálogo. Warrington, 4p.

SEINFRA Secretaria da Infra-Estrutura. **Atlas do potencial eólico do Ceará.** 2001. Disponível em: <http://www.seinfra.ce.gov.br/index.php/downloads/category/6-energia >. Acesso em: 10 jan 2011.

SILVA, G. K., PASSOS, J. C., COLLE, S., REGUSE, W., BEYER, H. G**. Metodologia de Avaliação do potencial de geração eólica para o estado de Santa Catarina**. III CONEM, Agosto 2004.

SALES, I. Prognósticos de chuvas no Ceará, só em janeiro**. Diário do Nordeste**, Fortaleza, 13 dez 2010. Disponível em: <http://diariodonordeste.globo.com/materia.asp?codigo=901031>. Acesso em: 26 abr 2011.

WENZEL, G. M., LOPEZ, H. F., ALE, J. V. **Estudo da Implementação de Sistema Eólica em Prédio da Empresa Auxiliadora Predial**. I CBENS, Abril 2007.

BIOENERGIA: HISTÓRIA E SUSTENTABILIDADE

Bruna Luisa Martins BARBOSA, Luana Domingo TEIXEIRA e Salomão Sávio BATISTA
Instituto Federal do Rio Grande do Norte – Campus Natal Central
Email: salomao.batista@ifrn.edu.br

RESUMO

Atualmente, a humanidade é dependente de diferentes tipos de energia para exercer variadas funções que são fundamentais para o seu desenvolvimento. Desta forma, cada país apresenta a sua matriz energética responsável por prover as atividades de diferentes regiões. Desde a descoberta do petróleo, produto de alto valor energético, o setor de energia sofreu profundas mudanças que foram importantes ao longo da história do homem, melhorando diferentes áreas da sociedade, como a indústria, a economia e a política, gerando, desta forma, uma dependência desse combustível fóssil com os demais países. A partir disso, houveram-se diversas crises do petróleo, que provocaram mudanças ao longo da história da humanidade, direcionando grande parte dos estudos e investimentos para a criação de novas fontes que garantissem o desenvolvimento socioeconômico de forma sustentável. Diante deste cenário já difundido, destacou-se a bioenergia, que apresenta uma boa relação custo benefício quanto aos aspectos econômicos e ambientais, além de ter bom potencial energético, apresentando possibilidade de produção em uma diversidade de matérias primas. Para a realização deste trabalho foi feita uma pesquisa de estudo com base nos livros e artigos científicos publicados nesta área, a fim de abranger um maior conhecimento sobre o tema abordado. Foi analisado também a matriz energética do país, tomando conhecimento das principais fontes utilizadas. O presente trabalho tem como objetivo mostrar para a sociedade a importância de se fazer o uso de fontes renováveis que tentam solucionar a problemática do setor energético, e entre elas, será analisada a bioenergia, que hoje está sendo utilizada em larga escala, apresentando boas perspectivas para o futuro próximo. Para isso, é necessário que todos conheçam as alternativas que se tem em relação ao petróleo para que se possa fazer a melhor escolha diante da geografia e da diversidade de benefícios que podem ser utilizados para a produção de bioenergia.

Palavras Chaves: Energia. Petróleo. Desenvolvimento Sustentável. Bioenergia.

1. INTRODUÇÃO

O uso da energia é vital para a sociedade humana, principalmente para a sociedade moderna, sendo ela totalmente relevante ao longo da trajetória política e econômica pelo mundo, tendo a responsabilidade de proporcionar conforto pessoal e mobilidade tornando-se fundamental para a produção da maior parte da riqueza social, industrial e comercial. Desde a idade média a energia já era utilizada com freqüência, nas quais as principais fontes eram a água e o vento que estavam presentes em importantes contextos históricos.

Mas, foi somente com a revolução industrial no século XVIII que aconteceu um grande progresso socioeconômico a partir da criação da máquina a vapor, que foi à base tecnológica, desenvolvendo a industrialização dos países, atingindo uma maior velocidade na produção, atendendo uma necessidade crescente de consumo, proporcionando a redução dos preços.

A partir da descoberta do petróleo, ele se tornou a principal fonte energética, adquirindo grandes proporções, gerando varias funções e passando a representar uma das maiores riquezas da sociedade moderna, originando verdadeiros impérios econômicos. Isso aconteceu devido às vantagens que ele apresenta, como por exemplo, sua grande densidade energética, maior facilidade de transporte, diversificação de produtos deriváveis, como a gasolina, diesel, querosene, plásticos, entre outros; sendo assim, indispensável para as indústrias petroquímicas e para o setor de transporte que é dependente deste combustível para prover suas atividades. Por ser importante na economia mundial, e por ser a principal fonte de energia do planeta, o petróleo já foi motivo de algumas guerras, como em 1973, que aconteceu um dos choques do petróleo, no qual o preço de seu barril aumentou de US$2,70 para cerca de US$11.

A sua aplicação é muito requerida em todo setor mundial e muito bem aplicada, no qual cerca de 80% da produção mundial de energia origina-se dessa fonte, entretanto é um elemento fóssil que precisa ser substituído, não só pela exaustão gradativa das reservas, mas também pela necessidade de um ambiente mais limpo além de tentar evitar qualquer tipo de crise que possa acontecer futuramente. Assim, houve-se a necessidade de criar uma nova estratégia de geração de energia: substituição do petróleo por fontes alternativas. Essa medida visa diminuir a dependência energética em relação a esta fonte, desenfreando o uso do petróleo e visando garantir energia para as gerações futuras.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo apresentar melhor a bioenergia, que representa uma fonte promissora, que tenta solucionar os desafios da produção de energia, conservando o meio ambiente, suportando o crescimento e oferecendo uma maior segurança energética.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em um trabalho publicado anteriormente cujo tema era Petróleo e fontes alternativas, apresentava na referência o livro Energia e meio Ambiente, dos autores Roger Hinrichs e Merlin kleinbach que afirma que apenas 1% do trabalho nas indústrias depende da força muscular como fonte de energia. Ao realizar a análise desta afirmação, pode-se fazer a seguinte pergunta: De onde vem toda essa energia que garante o desenvolvimento da indústria? Ao aprofundar o conhecimento em outro livro, este agora divulgado pelo Ipea - Sustentabilidade Ambiental no Brasil: Biodiversidade, Economia e Bem Estar Humano, pode-se aprender ainda mais de toda a matriz energética que move o país. Ainda neste livro, pode-se também encontrar informações que a previsão da Agência Internacional de Energia (International Energy Agency, IEA) para 2030 de fontes renováveis é de apenas 14,5% da produção total, além de não existir acordos de redução obrigatória das fontes de origem fóssil. Este dado estatístico motivou a elaboração deste trabalho, pois houve um grande interesse em pesquisar os tipos de fontes renováveis mais difundidos e o motivo pelo qual sua utilização é tão inferior quanto ao uso de combustíveis fósseis.

Assim, o início deste projeto se deu a partir da conclusão do trabalho anterior que motivou a conhecer um pouco mais da bioenergia, que vem ganhando espaço no território brasileiro. E como

afirma Ruy Moreira, professor dos cursos de graduação e pós graduação de geografia, a bioenergia é fruto da terceira era técnica em que estamos bem entrados e da qual o biocombustível já aparece como símbolo, assim como o petróleo e o automóvel simbolizavam a era técnica da segunda revolução industrial.

Por fim, a escolha deste tema justifica-se pelo fato de mostrar para a sociedade a conscientização por um meio ambiente mais protegido, além de que isso deveria ser interesse de toda sociedade, pois é minimizando os gases do efeito estufa, grande parte causada pela emissão dos combustíveis fósseis, que se melhora a qualidade de vida da população.

3. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada inicialmente com o objetivo de responder as perguntas feitas pelas autoras. A partir disso, houve um maior aprofundamento do tema, no qual foi feita de forma básica, gerando conhecimentos sobre o avanço tecnológico da energia, podendo ter utilidade prática futuramente.

Além disso, a pesquisa foi qualitativa, as análises e teses estudadas foram fundamentais para o desenvolvimento do trabalho. Este foi realizado em salas de estudo do Instituto Federal do Rio Grande do Norte, com a ajudar de um professor orientador.

A técnica desenvolvida foi a documentação indireta, por meio de uma pesquisa bibliográfica que melhor ajudou a compor todas as informações contidas no projeto.

É importante citar ainda que, este trabalho começou com uma iniciativa do Programa de Formação dos Recursos Humanos (PFRH), no qual motivou o interesse na área de petróleo, biocombustívei e energia.

4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

4.1 A bioenergia

A bioenergia está vivenciando um crescimento proveniente de uma combinação de fatores, que não pode solucionar totalmente o problema energético, mas pode substituir os combustíveis fósseis nos meios de transporte e na utilização de alguns de seus derivados, como a troca do gás liquefeito do petróleo (GLP) para o uso do biogás.

Ela se apresenta hoje como a fonte mais promissora do mercado mundial. Esse título se deve ao fato da variedade de suas matérias primas e formas de produção, além de representar uma fonte renovável de energia. Sintetizando, ela possui propriedades técnicas que já estão em uso, e que futuramente serão essenciais para o setor energético e para o desenvolvimento da indústria. E diante dos desafios enfrentados, o homem tem consciência das vantagens da bioenergia e, por isso, a utiliza ao seu favor.

As fontes alternativas apresentadas atualmente são fundamentais na matriz energética do Brasil e de todo o mundo, porém, a maioria delas necessita de uma geografia de grande porte, que pode variar de acordo com o tipo de fonte escolhida para cada região, como por exemplo, para a produção de uma usina hidrelétrica é indispensável uma grande área em torno de um curso de um rio que será desviado para que possa ser construída a barragem, para que posteriormente seja realizada a produção de energia elétrica. Indiscutivelmente não é todo espaço geográfico que possui as características necessárias para a produção de uma usina, tornando-se necessário a diversificação de energia elétrica provinda de diferentes fontes, que podem variar de região para região.

O Brasil é um grande privilegiado, pois possui uma excelente geografia que permite o uso de fontes alternativas ao petróleo como as usinas hidrelétricas, eólicas, solar, entre outras. Além disso,

outra vantagem é o seu solo fertil, sua grande extensão e seus diferentes tipos de clima e relevo que permite a produção da bioenergia.

Atualmente o tipo de energia mais empregado é a cana-de-açúcar para a produção de combustível veicular, sendo este um grande exemplo de que investir neste ramo é vantajoso. Outro fator importante é que a bioenergia não se limita apenas na cana-de-açúcar, existindo outras inúmeras matérias primas que são importantes na matriz energética brasileira: Agriresíduos, como a cascas de arroz, cascas de nozes, bagaço, palha, Resíduos urbanos e indústrias, mandioca, beterraba, batatas, trigo, milho, madeira, resíduos de animais, lama de esgotos, resíduos agroalimentares, lixo e etc. Desta forma, é evidente que o uso dessas matérias primas precisa ser estudado, avaliando o custo benefícios para uma produção em alta escala.

4.2 Classificação

Temos três setores de classificação para a bioenergia. Florestas, produção de papel, processamento da madeira e resíduos agropecuários que fornecem combustíveis sólidos para calor e energia. Plantações de oleaginosas e outras geram combustíveis líquidos como o biodiesel e o álcool para o transporte. E o metano que é capturado como combustível gasoso a partir da digestão anaeróbica dos resíduos agrícolas, produzindo calor e eletricidade combinados (além de refrigeração), assim como para o transporte ou uso doméstico. Observe a seguir o quadro que exemplifica esta classificação.

Matéria prima BIOMASSA SÓLIDA	**Tecnologia de geração de combustível**	**Combustível produzido**	**Tecnologia de energia**	**Saída da bioenergia**
Madeira, agro-resíduos, resíduos urbanos e industriais	Cortar, picar, espedaçar, esmagar, criando prensas.	Resíduo da cocleita, carvão de lenha ...	Combustão direta, co-combustão, gaseificação.	Calor, eletricidade, vapor, movimentação mecânica.
Matéria prima BIOMASSA LÍQUIDA	**Tecnologia de geração de combustível**	**Combustível produzido**	**Tecnologia de energia**	**Saída da bioenergia**
Cana de açúcar, beterraba, trigo, milho Óleos vegetais, de nozes e reciclados.	Estração, esterificação, pirólise, hidrólise, fermentação e destilação.	Álcool, Biodiesel, Pirólise de óleo ...	Motor de combustão interna e geradores elétricos.	Transporte, Calor, Eletricidade
Matéria prima BIOMASSA GASOSA	**Tecnologia de geração de combustível**	**Combustível produzido**	**Tecnologia de energia**	**Saída da bioenergia**
Resíduos de animais, resíduos agro-alimentares, lixo.	Digestão anaeróbica.	Biogás.	Motor de combustão interna.	Eletricidade, trasnporte, cozimento e aquecimento.

Por esse trabalho tratar de assuntos relacionados ao desenvolvimento energético e sustentável será explanado o tipo de bioenergia oriundo da biomassa líquida e gasosa, que são os biocombustíveis e o biogás, realizando um importante papel na matriz energética brasileira.

4.3 Biocombustíveis

Apenas 25 anos após a descoberta do Brasil, Martim Afonso de Souza introduziu a cana de açúcar no país. Inicialmente, ela se deu no litoral brasileiro, que se apresentava propício para o cultivo da cana, se transformando no alicerce econômico da colonização portuguesa. Durante muito tempo, a cana de açúcar foi desenvolvida com poucas técnicas. O trabalho era realizado pelos escravos e o senhor do engenho visava o aumento da produção através do aumento de suas terras e não pelo aperfeiçoamento de técnicas. Com esse objetivo ela se expande para outros lugares e constitui-se a principal atividade econômica do país.

Em 1650 surge o açúcar produzido a partir da beterraba que, inicialmente, não foi tão difundido como o açúcar da cana. Ele só ganhou lugar na economia brasileira em 1880, época em que desenvolvimentos tecnológicos foram aperfeiçoados, melhorando o açúcar provindo da beterraba.

A cultura da cana de açúcar já vinha sendo prejudicada, pela distância entre Brasil e os portos consumidores, pelo baixo nível técnico da produção, e agora, apresentava um novo concorrente. Assim, no século XIX, o Brasil caiu para o quinto lugar na lista de produtores de cana, com apenas 8% da produção mundial.

Com reação a essa crise, no qual o açúcar passava por profundos declínios, novas aplicações para a cana deveriam ser encontradas. Foram realizados desenvolvimentos na área de energia renovável para produzir combustível a partir da cana de açúcar.

Algumas experiências já vinham sido realizadas no Brasil, como a “Exposição Internacional de Produtos e Equipamentos a Álcool” e o “Congresso das Aplicações Industriais do Álcool” no Estado do Rio de Janeiro, mas foi somente em 1925 que um carro viajou do Rio de Janeiro à São Paulo movido a álcool.

Em novembro 1925, ocorre a conferência “O álcool como combustível industrial no Brasil”, também no Rio de Janeiro, e considerada uma das primeiras ações de defesa do uso do combustível.

Em 1953, com a fundação da Petróleo Brasileiro S/A (Petrobras), novos objetivos para o desenvolvimento econômico se estabeleceram, no qual a produção de etanol não estava entre eles, sendo portanto, relegada à segundo plano.

Em 1973, com a primeira crise do petróleo, que teve como consequência um significativo aumento do preço do barril em 223,5% houve a necessidade de novas medidas, como a utilização de fontes alternativas ao petróleo, para suavizar os estragos da elevação do custo na economia nacional.

Com a procura de novas fontes que minimizassem a utilização do petróleo, em 1975 foi criado o Programa Nacional do álcool (PROÁLCOOL), cujo objetivo era substituir, em larga escala, os combustíveis veiculares derivados de petróleo por álcool, financiado pelo governo do Brasil.

No ano de 1977, o álcool passou a ser acrescentado à gasolina em uma fração de 4,5%, com o objetivo de reduzir os gastos com o petróleo importado.

Em 1979, ocorreu o conflito entre Irã e Iraque, caracterizando a segunda crise do petróleo. O valor médio passa de US$ 18,36 para US$ 30,72, ou seja, um aumento de 100% no valor de seu barril.

Como conseqüência dos elevados valores, carros a álcool hidratado começam a ser utilizados em larga escala em todo país, e agora, a fração deixou de ser 4,5% e passou para 15% de álcool acrescentado à gasolina.

Em julho de 1979, ocorre a criação do primeiro carro movido totalmente a álcool no Brasil, o Fiat 147 e a meta de produção de três bilhões de litros para 1990 já estava alcançada.

Outras metas foram sendo estabelecidas e, para isso, o governo apoiou a produção de álcool a partir de outras matérias primas, como mandioca e babaçu.

Por volta de 1986, o mercado petrolífero foi alterado e os preços do barril caíram consideravelmente. O preço da gasolina se equiparou com o do etanol, e por essas e outras razões, como também as dificuldades encontradas nos carros movidos à álcool, houve um desinteresse do governo, assim como também da PETROBRÀS pelo PROALCOOL. Desta forma, o país passou a adotar outras substâncias energéticas para ser adicionadas à gasolina, como o uso de metil-tércio-butil-éter – MTBE ((CH3)3COCH3) em substituição ao álcool anidro.

Logo depois, na década de 90, foi realizada um Conferência da Nações Unida para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, cujo objetivo era continuar o progresso socioeconômico sem prejudicar os outros ecossistemas do planeta. Com isso, várias políticas voltadas para a preservação do meio ambiente ganharam força no cenário internacional e foi nesta época que países se comprometeram reduzir a emissão de gases do efeito estufa, por meio do protocolo de Kyoto, o qual estimulava diferentes nações a fazerem o uso de novas tecnologias, voltadas para um desenvolvimento sustentável, nos setores de energia, transportes, ou seja, buscando a utilização de fontes renováveis. Com essa nova visão, a era do meio ambiente coloca, novamente, em foco internacional a utilização do álcool.

Em 2003, os veículos flexfuel, que podem ser movido a álcool ou a gasolina, chegam ao mercado causando grandes mudanças. Os consumidores brasileiros mostram racionalidade econômica e consistência ambiental aderindo à nova opção. Em 2008, cerca de 92% dos carros vendidos no País já eram bicombustíveis conforme dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores.

Por fim, em 2005, foi lançado o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). Que a partir de então, o estado passou a ter metas de uso de biodiesel na matriz energética nacional, além do programa garantir preços, suprimentos e qualidade para a produção a partir de fontes oleaginosas em regiões diversas.

O setor de transporte é onde a participação de energia se faz mais necessária devido à dificuldade de se utilizar combustíveis viáveis tecnologicamente e economicamente para substituir os combustíveis fósseis.

O etanol é simbolizado como combustível verde e conforme a UNICA (União da Indústria da Cana de Açúcar) na sua cadeia de produção e consumo, apresenta índices de poluição em torno de 60 a 80% menores em relação aos combustíveis derivados de petróleo.

Nos biocombustíveis, existe também o biodiesel, que é obtido a partir das matérias primas animais e vegetais derivado de óleos. A história do biodiesel começou com a criação de motores diesel, no final do século XIX, criado por Rudolf Diesel. O motor, movido a óleo de amendoim, foi exibido na exposição de Paris, em 1900, apresentando resultados satisfatórios.

No Brasil, sua trajetória começou em 1920, com as iniciativas do Instituto Nacional de Tecnologia. Porém, foi somente em 1970 que foi criado o Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos (Proóleo), devido à crise energética que o mundo enfrentava. Esse programa visava à produção de óleos vegetais em larga escala para substituir o óleo diesel, a partir da soja, amendoim, girassol e outras fontes. Entretanto, o sucesso que o PROÁLCOOL vinha fazendo, a estabilização dos preços do petróleo e os altos custos para o esmagamento das oleaginosas, favoreceram uma paralisação do programa.

Para tratar dos desafios e oportunidades enfrentadas pelos biocombustíveis, foi realizada, por iniciativa do ex-presidente Luíz Inácio Lula da Silva, a “Conferência Internacional sobre Biocombustíveis: os biocombustíveis como vetor do desenvolvimento sustentável”. Em 2008 foi lançada a mistura de diesel com 2% de biodiesel (B2) e mais tarde, o B4 e B5.

Com isso, nenhum outro país conseguiu desenvolver tecnologia sustentável alternativa ao uso do combustível fóssil na mesma escala que o Brasil, tendo ele uma grande diversidade de espécies

oleaginosas das quais é possível extrair óleos vegetais inclusive para a utilização em sua matriz energética.

O biodiesel juntamente com o etanol realiza importante papel na matriz energética. Eles são considerados biocombustíveis por serem derivados da biomassa e por isso, tem como desvantagem a necessidade de utilização de grandes territórios por depender de áreas agrícolas disponíveis para o plantio que também serão usadas para alimentar a população.

Entretanto, o biodiesel apresenta também inúmeras vantagens. Uma delas é a possibilidade de produção diversificada mesmo em solos menos férteis, com baixo custo de produção. É constituído de carbono neutro, onde as plantas capturam todo o dióxido de carbono emitido pela queima do biodiesel, gerando um equilíbrio. A utilização do biodiesel contribui também para a geração de empregos no setor primário, preocupação do governo cujo objetivo é não aumentar o inchaço das grandes cidades com grande parte da população desempregada.

Com isso, grandes partes dos veículos da indústria de transporte e da agricultura utilizam o biodiesel que se apresentam como uma boa alternativa econômica, tendo vantagens de ser confiável, renovável, fortalecendo a economia do país, gerando mais empregos.

O mercado dos biocombustíveis está cada vez mais diversificado. No final de 2010, foi noticiado o voo experimental de uma aeronave utilizando bioquerosene de aviação, produzido a partir do óleo de pinhão manso, uma biomassa vegetal brasileira. O voo teve as aprovações técnicas da fabricante da aeronave, a Airbus, e da dos motores, a CFM, e foi autorizado pelas autoridades aeronáuticas da Europa – European Aviation Safety Agency (EASA) – e do Brasil – Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). No âmbito internacional, a aviação comercial e militar começa a perceber a necessidade de estabelecer metas de adição dos biocombustíveis, o que tem estimulado a pesquisa. O setor de aviação civil brasileiro poderá planejar incentivos à adoção de tais práticas.

4.4 Biogás

Este tipo de gás foi descoberto no século XVIII por Alessandro Volta e começou a ser produzido em larga escala nos biodigestores espalhados na China e na Índia com a intenção de atender as necessidades energéticas da zona rural. O biogás é composto por uma mistura de gás metano, dióxido de carbono e traços de outros gases, cujo tipo e porcentagem variam de acordo com as características do tipo de resíduos e as condições de funcionamento do processo de digestão.

O Biogás é outro tipo de bioenergia com uma boa utilidade. É obtido através de lixo urbano, resíduos agrícolas, excremento de animais e do homem, como ocorre em aterros sanitários existentes já em alguns países. Os gases apresentam um importante papel no cenário atual, pois sua utilização vem tomando espaço como combustíveis de qualidade e custo satisfatório, tendo como possibilidade de substituir os combustíveis líquidos produzidos com petróleo.

A produção controlada de biogás através dos aterros sanitários e biodigestores representa uma alternativa de ganho ecológica, econômica, altamente viável e necessária para o desenvolvimento sustentável das regiões urbana e rurais.

4.5 Bioenergia e sustentabilidade

A matriz energética brasileira é uma das mais limpas e sustentáveis do mundo. É importante para o país estabelecer as quantidades disponíveis de matérias primas para a produção de biocombustíveis diante do ponto de vista ambiental, pois apesar da necessidade de utilização de produtos que substituem o petróleo, os biocombustíveis precisam de uma grande demanda de terras agricultáveis, e neste caso, poderá provocar uma pressão sobre as florestas e outros ecossistemas naturais, com possíveis perdas em biodiversidade. Para isso, uma boa alternativa seria a produção de combustível de segunda geração (rejeitos, como a palha da cada de açúcar), para que possa ser reduzido o problema de produção de grãos para alimentos ou para geração de energia.

A discussão sobre a inserção sobre a bioenergia não deve se restringir aos biocombustíveis e considerar também a bioeletricidade, gerada por meio de resíduos agrícolas, florestais e urbanos e dejetos animais. Por utilizar como matéria prima um resíduo, ela apresenta um custo inferior ao custo de outras fontes renováveis.

Assim, muito mais que sacrifício para a economia nacional, a sustentabilidade ambiental deve ser vista como uma oportunidade para o desenvolvimento socieconômico.

5 CONCLUSÃO

Justamente por ser considerada uma fonte renovável, a bioenergia tem a necessidade de aprimorar a sua cadeia de modo a maximizar a sua produtividade com o devido cuidado ambiental. Questões como redução dos gases causadores do efeito estufa são desafios que o setor energético vem enfrentando com a ajuda de pesquisadores. Há uma necessidade de adequar a produção de bioenergia à qualidade de vida e geração de renda. O campo de pesquisa vem demonstrando inúmeras alternativas para elevar o aproveitamento das inúmeras matérias primas existentes, tornando-a ainda mais proveitosa.

Não foi encontrado o combustível "perfeito", barato, inesgotável, com grande densidade energética, fácil de armazenar, não poluente, pouco inflamável, com baixo preço para o deslocamento, com flexibilidade de uso em todos os mercados, baixo custo de processamento, estético, apresentável e estável. Para solucionar de uma vez os problemas relacionados ao setor energético do país, não existe uma espécie de combustível que agrade em todas as áreas. Entretanto, não se deve cessar a busca por novas fontes que garantam o desenvolvimento sustentável. Com essa abordagem, o presente trabalho procurou mostrar que a bioenergia tem condições de continuar e expandir nos próximos anos, dentro dos padrões sociais e ambientais adequados.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EPE- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Ministério de Minas e Energia. (Org.) Dez. 2010. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis.** Disponível em:< www.epe.gov.br>. Acesso em: 12 ago. 2011.

GOLDEMBERG, J. Francisco E. B. Nigro, Suani T. **Bioenergia no Estado de São Paulo:** Situação atual, Perspectivas, Barreiras e Propostas. São Paulo. 2008. 152p Disponível em:< http://www.desenvolvimento.sp.gov.br/noticias//files/livro_bioenergia.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2011.

HINRICHS, Roger; KLEINBACH Merlin. **Energia e meio ambiente**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

IPEA- INSTITUTO DE ECONÔMIA E POLITICA APLICADA (Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da Republica) (Org.). **Sustentabilidade Ambiental no Brasil:** biodiversidade, economia e bem-estar humano. Disponível em:< www.ipea.gov.br>. Acesso em: 12 ago. 2011.

MOREIRA, Ruy. **Bioenergia:** Artigo: Sentido e Significado. 2007. Disponível em:< http://www.anpege.org.br/downloads/artigo_4.pdf>. Acesso em: 15 set. 2011.

NASCIMENTO, Iracema Andrade. **Bioenergia:** Artigo: Bioenergia como fator de sustentabilidade ambiental. 2008. Disponível em: <http://blog.ftc.br/ftcverde/?p=54>. Acesso em: 05 ago. 2011.

PETROBRAS. **Biocombustíveis**: 50 perguntas e respostas sobre esse novo mercado. Brasil, 2007. Disponível em: < http://www.ecoclima.org.br/br/Informacoes%20Tecnicas/Cartilha_Biocombustiveis.pdf > Acesso em: 02 mar. 2011

SEBRAE. **Biodiesel**. Disponível em: < http://www.biodiesel.gov.br/ > Acesso em: 15 maio 2011

TÁVORA, Fernando Tavares. **História e Economia dos biocombustíveis no Brasil.** Brasília. 2011

TORRES, Adriana Cazelgrandi. **Sustentabilidade na Indústria de Bioenergia.** Disponível em:< http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2007/desenvolvimento/28.pdf>. Acesso em: 01 set. 2011.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS. E, C, Moretti. **BIOENERGIA:** Preservar a natureza para salvar a tecnologia. 2010. Disponível em:< http://www.periodicos.ufgd.edu.br/index.php/premissas/index>. Acesso em: 15 ago. 2011.

DESTINO FINAL DO ÓLEO LUBRIFICANTE USADO – O CASO DAS EMPRESAS DE MOSSORÓ-RN

José Eugênio Silva de Morais Júnior[1], Ciro Maia de Souza[2], Luiz Ricardo Rodrigues Araújo[3] e Maria Rosimar de Sousa[4]
Instituto Federal do Rio Grande do Norte - Campus Mossoró
[1]eugeniojr88@hotmail.com – [2]ciro_lut@hotmail.com – [3]ricardo.araujo@ifrn.edu.br – [4]rosimarsousa@ifrn.edu.br

RESUMO

O desenvolvimento urbano e o aumento do consumo de bens e serviços geram vários impactos ambientais, principalmente oriundos de resíduos de processos em geral. O setor de manutenção automobilística e a indústria mecânica são uns dos setores que mais contribuem para o impacto ambiental em questão, pois ambos os setores utilizam óleos em processos que dão origem a resíduos de grande potencial poluidor, que se não receberem o encaminhamento correto podem contribuir quase que majoritariamente para a poluição de rios, solos e lençóis freáticos. Pelo fato de existir a importância em ter este conhecimento sobre o destino destes resíduos, o trabalho foi realizado. Este artigo trata principalmente de um estudo de caso realizado na cidade de Mossoró com o objetivo de estudar o comportamento de empresas de diferentes segmentos da mecânica, no que diz respeito ao destino, enquanto resíduo, do óleo lubrificante usado em suas atividades rotineiras ou pelos seus clientes. Por meio de pesquisa qualitativa e quantitativa, buscou-se uma breve revisão bibliográfica de artigos já publicados sobre o assunto e, logo após, entrevista com funcionários das empresas-alvo. Os dados obtidos mostraram, de maneira geral que a prática de coleta e venda do produto é predominante, muito embora algumas empresas não tenham uma estrutura privilegiada que permita esta operação. No local em análise, a coleta é realizada por uma empresa privada, que, quase na totalidade dos casos, realiza a compra. Também foi possível perceber que há outros procedimentos e técnicas de reuso, contribuindo para ações efetivas de desenvolvimento sustentável. Conclui-se, portanto que os empresários locais desconhecem o final e definitivo descarte do óleo lubrificante após a coleta, e que a fiscalização realizada no município não é uniforme. Também se observou que com o aumento do porte da empresa, a certificação ambiental e de qualidade contribui para o aumento das práticas ecologicamente corretas.

Palavras-chave: Óleo lubrificante, reciclagem, reuso, desenvolvimento sustentável, impacto ambiental.

1. INTRODUÇÃO

O setor de empresas responsáveis por manutenção automotiva é um dos setores de serviços com maior acumulo de óleo lubrificante como resíduo por serviço, isto é, a cada troca de óleo ou qualquer outro tipo de serviço automobilístico, uma quantidade considerável do óleo já não reutilizável em um automóvel é obtida. Um costume comum das empresas é o armazenamento do resíduo para posterior venda ou reutilização. Com isso pode-se concluir que a grande parte deste óleo utilizado não tem um destino direto para o meio ambiente. Porém, não são todas as empresas que tem este tipo de costume e nem muito menos este é o único modo de contaminação que o uso de óleos lubrificantes tem ocasionado hoje em dia. Os recipientes plásticos para armazenamento do óleo a ser vendido, o filtro de óleo, as estopas e panos utilizados para limpeza de mãos ou peças sujas de óleo, a roupa suja dos funcionários deste tipo de empresa e também o descarte direto no meio ambiente do óleo de corte utilizado em máquinas ferramenta de indústrias de usinagem são outros meios de contaminação associados aos óleos lubrificantes em geral.

A fiscalização é realizada por entidades como o IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (nível estadual), CONAMA – Conselho nacional de Meio Ambiente e secretarias municipais. A NBR 10004 classifica os resíduos e especifica como se deve proceder com o descarte de óleos usados, ou mais informalmente, óleos queimados. As entidades, sob orientação da norma devem orientar, fiscalizar e penalizar as empresas estudando bem cada caso. Este trabalho tem o objetivo principal de estudar se a fiscalização é efetiva, o comportamento das empresas mossoroenses no que se refere ao descarte ou reutilização do óleo e quais seriam algumas alternativas para a abordagem deste problema.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é entender principalmente o comportamento das empresas com relação ao óleo lubrificante como resíduo (automobilístico ou óleo de corte), o seu descarte e reutilização. De um modo mais geral este estudo de caso também fará levantamentos quanto à postura das empresas em relação aos outros modos de contaminação do meio ambiente associados aos óleos lubrificantes como: descarte de filtros de óleo, embalagens plásticas de óleo e de estopas e panos para limpeza e efluentes das lavagens de roupas de funcionários.

3. JUSTIFICATIVA

O CONAMA – Conselho nacional de Meio Ambiente, em sua Resolução nº 362/2005 Art. 1º prevê que:

> Todo óleo lubrificante usado ou contaminado deverá ser recolhido, coletado e ter destinação final, de modo que não afete negativamente o meio ambiente e propicie a máxima recuperação dos constituintes nele contidos, na forma prevista nesta Resolução**.** (Grifo nosso)

Dessa forma, entende-se que o impacto ambiental causado pelo uso de óleos lubrificantes nas mais diversas atividades da indústria e manutenção mecânica é bastante intenso. Partindo desta realidade é de responsabilidade social e dos órgãos públicos competentes sempre estar fiscalizando e buscando novas alternativas para evitar o descarte de resíduos tão poluentes no solo, rios e lençóis freáticos. O entendimento do comportamento das empresas mossoroenses para com esta realidade é

de suma importância para a cidade, principalmente pelo fato desta já ter um rio bastante assoreado e poluído.

4. METODOLOGIA

O trabalho iniciou-se com uma breve revisão bibliográfica de artigos já publicados sobre o assunto de maneira geral, e também estudo de processos de re-refino. Utilizou-se pesquisa quantitativa e qualitativa, na forma de questionário, o qual buscava tanto quantificar dados, como também descrever um comportamento. O questionário utilizado (adaptado de GOMES, 2008, p. 14-15) possuía 15 questões, objetivas e subjetivas, com espaço para observações extras. As entrevistas foram realizadas com funcionários das empresas-alvo e posteriores análises estatísticas e críticas foram feitas sobre os dados. Para efeito de análise, as empresas foram separadas da seguinte forma:

- Tipo 1: Empresa de grande porte, privada, especializada em venda, assistência técnica e reparos em geral de automóveis de um único fabricante reconhecido nacionalmente, com oficina própria de capacidade para fluxo de muitos veículos em sua rotina.
- Tipo 2: Empresa de pequeno ou médio porte, atuante em serviços rápidos ou não, de manutenção de veículos automotivos (carro), bem como em venda de peças e produtos como óleo lubrificante.
- Tipo 3: Empresa atuante em processos predominantemente industriais e de manutenção, voltados para equipamentos em geral e uso de processos como usinagem, tornearia, retífica.
- Tipo 4: Oficina terceirizada, geralmente associada à pequeno comércio, atuante em manutenção de veículos (motocicletas, ciclomotores), de caráter mais informal (Borracharia).

No total ocorreram entrevistas em dezessete empresas, das quais: duas eram do tipo um, nove empresas pertenciam ao tipo dois, duas ao tipo três e três empresas pertenciam ao tipo quatro. Nem todas as empresas responderam a todas as questões.

5. RESULTADOS

Dentre as dezessete empresas entrevistadas, três não realizam a coleta do óleo para reciclagem. Destas, duas pertencem ao tipo três (100%) e uma pertence ao tipo quatro. Quanto às empresas tipo três, por se tratarem de serviços de usinagem, o óleo utilizado por elas é o óleo de corte, este tipo de óleo é pouco utilizado e tem uma longa vida útil porque a máquina o reutiliza. Portanto, este tipo de óleo somente é descartado quando apresenta excessiva presença de partículas metálicas inibindo suas propriedades lubrificantes e refrigerantes. A empresa do tipo quatro afirmou que o óleo é reutilizado por empresas para as quais o proprietário o doa para ser usado na fabricação de lajotas e manutenção de ferramentas ou maquinas da construção civil.

As catorze restantes destinam o óleo para reciclagem, seja por meio de venda do resíduo ou por doação do mesmo. A obrigatoriedade da ação foi constatada como relativa, pois apenas uma das empresas entrevistadas, classificada como tipo dois, informou que coletar e reciclar o óleo são procedimentos necessários para renovar a certificação com o IDEMA. Das empresas que responderam que a ação não é obrigatória, metade procedem desse modo pelo lucro obtido, e outra metade descarta o óleo direto no ambiente ou esgoto.

No entanto, para o tipo 1 percebeu-se um comportamento diferente: 100% dos entrevistados consideram o procedimento como obrigatório, por questões puramente burocráticas, tais como adoção da ISSO 9001 e 14001.Quanto ao tipo 2, a maior amostragem permitiu resultados ainda mais variados.

80% das empresas desta classificação afirmam que sim, e destas, 20 % do total faz por vontade própria, porque acha lucrativa a venda do resíduo.

Para elas, não há fiscalização nem incentivo por parte do poder público. Neste ponto é importante destacar que em uma das entrevistas um funcionário envolvido com a gestão da empresa que conhecia bem a burocracia e a política normativa existente na realidade de uma empresa, deu sua opinião, afirmando que "... caso houvesse benefícios fiscais palpáveis para as empresas que tivessem essa preocupação com o descarte de óleo, talvez os gestores buscassem mais esse procedimento". Metade destas (dos mesmos 20% que procedem por vontade própria) afirmou que o procedimento não é necessário por não trabalharem diretamente com motores, pois o óleo residual obtido em serviços era de pouca quantidade. Outros 20% das empresas tipo dois que afirmaram que o processo é obrigatório alegam que a fiscalização do IDEMA é freqüente.

A fiscalização foi identificada como parcial na maioria dos casos, principalmente nos tipos 2 e 4. Aproximadamente 50% e 30% de cada grupo, respectivamente, afirmam já terem sido vistoriadas pelo órgão competente, quer seja na abertura da empresa, ou em inspeções ordinárias. Estas, por sua vez, correspondem a ¼ do grupo dois, valor considerado pequeno ao se analisar o tipo de serviço. Outros ¼ do mesmo grupo afirmaram que para as condições em que a atividade é realizada, a fiscalização não é obrigatória.

A coleta e destino à reciclagem, em 100% dos casos são feitos por uma empresa terceirizada. Uma destas é localizada na Bahia, e outra, residente em Mossoró, abrange todas as outras empresas entrevistadas. Outras respostas informaram que estas empresas geralmente coletam óleo para reutilizá-lo na fabricação de piche, marcador de asfalto, revestimento de ferramentas e outros destinos. Não foi possível contato com nenhuma empresa coletora para eventuais entrevistas e esclarecimentos sobre as etapas seguintes.

Em 80% dos casos de coleta o óleo é vendido. Quando isto não ocorre, a empresa doa a outras instituições para usarem em manutenção de equipamentos ou outro destino, no qual a escolha da beneficiada pela doação é criteriosamente escolhida, ou seja, o óleo não é distribuído aleatoriamente. Um dos funcionários entrevistados afirmou que a venda de óleo usado não é uma prática permitida a qualquer pessoa (física ou jurídica).

Quanto à freqüência da coleta, observou-se como mensal, bimestral ou dependente do reservatório, ou seja, a coleta é feita quando o reservatório enche. Este, por sua vez, podia ser um tonel, de capacidade variante entre 60 e 200L, e em algumas das empresas havia reservatórios construídos, conforme afirmado pelos entrevistados, por padrões do IDEMA, com capacidade de 1000L – técnica denominada armazenamento aéreo. Em todas as empresas entrevistadas, os reservatórios para armazenamento de óleo eram comprados e mantidos pela própria empresa, ou seja, em nenhum dos casos a empresa coletora o fornecia. Descobriu-se também que um tipo anterior de reservatório construído em alvenaria, abaixo do chão, tornou obsoleto e proibido devido à possibilidade de contaminação do solo.

O destino do produto bruto obtido nas atividades de troca de óleo não é, obrigatoriamente, a reciclagem. Uma parte dos entrevistados afirma conhecer alternativas, tais como reaproveitamento na construção civil (fabricação de lajotas), manutenção de equipamentos e uma terceira alternativa que seria utilização em piche e caldeiraria. Também é comum que os clientes peçam para levar o óleo para casa, a fim de utilizá-lo para evitar o crescimento de comunidades de cupins em estruturas de madeira, despejar no solo para impedir o crescimento de capim e outras espécies de plantas indesejadas em calçadas, quintais ou terrenos, por exemplo, ou queimá-lo para espantar insetos. Na maioria dos casos o destino dado ao óleo pelos clientes é indevido, já que o óleo chega a entrar em contato com plantas, solo ou sofre combustão.

Apesar de algumas evidências já citadas, nem todas as empresas são abertas a novos procedimentos. As empresas certificadas/registradas no IDEMA (100% tipo 1, 1/3 do tipo 2), afirmaram não ter nenhum tipo de interesse em conhecer outras práticas, porque a certificação já é suficiente. As que têm interesse afirmaram que sempre visam à qualidade e o crescimento da empresa com este tipo de atualização.

Ao serem questionados quando a existência do método de separação de água e óleo, muitos dos entrevistados classificados como tipo quatro afirmam ter certeza de que o óleo coletado não apresenta teor de água, devido ao sistema interno da moto. No entanto, muitas oficinas possuíam o serviço de lavagem de motos e de peças, o que gera esta mistura como efluente. No tipo três, percebeu-se em todas as empresas que os proprietários não achavam necessário um local de separação da mistura água-óleo, pois o óleo não era armazenado, e sim descartado imediatamente quando se identificava o fim da sua vida útil. No que se refere aos dois tipos restantes, aproximadamente 36% possuíam algum local para separação. Destes 36%, 75% são empresas do tipo dois e os 25% restantes são do tipo um.

Outra forma de contaminação pressuposta diz respeito ao material contaminado utilizado na limpeza (pano, estopa, serragem, areia), a respeito do qual se percebeu que o destino mais freqüente é o lixo comum, e que nenhuma empresa ou órgão em questão atenta a este tipo de fonte de resíduo. Da mesma forma, não há conhecimento de um método que permita a lavagem da roupa do trabalhador envolvido na atividade sem que o fluido vá diretamente para o esgoto comum. Aproximadamente1/8 do total (2 empresas) incentiva seus trabalhadores através de técnicas que visam a pura preservação da roupa, e não a preservação ambiental.

A respeito do destino do filtro de óleo, o entrevistado poderia citar sucateiros de ferro, lixo comum, empresas especializadas ou a opção “outro”, citando o outro destino. Na elaboração deste questionário, o destino do filtro de óleo usado também foi considerado como uma questão ambiental importante já que além de conter resíduos de óleo algumas dessas peças (de troca rápida) ainda são feitas com material metálico. A questão não se aplica às empresas do grupo 3 – máquinas de usinagem em geral não possuem filtro de óleo descartáveis. Dentre as respostas, constataram-se destinos variados, como coleta seletiva municipal, venda às empresas de reciclagem, catadores de lixo ou a sucateiros de ferro.

As embalagens plásticas para armazenamento do óleo de fábrica também são uma fonte perigosa de poluição. A coleta seletiva existe na cidade, mas foi identificado pelo estudo que algumas empresas não são beneficiadas. Nos tipos 2 e 4, 70% das empresas destinam à reciclagem. Este valor cai para 50% no tipo 3, enquanto que no tipo 1 é predominante (100%).

6. CONCLUSÕES

Com base nos dados obtidos pode-se concluir que em empresas de maior porte a responsabilidade ambiental é bem mais evidente, pois neste caso entraria em confronto a credibilidade a confiabilidade da empresa. Em empresas menores percebe-se que a falta de informação é, infelizmente, uma realidade. Apesar disso, ambos os tipos de empresas tem a consciência, mesmo com base empírica, de evitar descartar o óleo direto no ambiente. Em boa parte dos casos é bastante lucrativo vender o óleo para outros empresários que reutilizam o óleo evitando seu descarte indevido pelas empresas primárias, mas este produto pode estar sendo descartado de forma errada pelas empresas que o adquirem.

Nas empresas onde a fiscalização é intensa, as normas são fielmente seguidas. Cada resíduo tem um destino determinado e os empresários só podem vendê-los para empresas registradas com visto

renovável no IDEMA, garantindo desta forma um destino limpo para o óleo. Não foi possível contato com nenhuma empresa coletora. Porém, infelizmente, a pesquisa realizada revelou que poucas empresas tiveram ao menos um contato com o órgão regulamentador, o que justifica a falta de informação na maioria das empresas. Este contato seria importante pelo fato de o órgão informaria, dentre outras coisas, que empresas são habilitadas à coleta do resíduo, como proceder com o a reciclagem. Muitas vezes, as empresas sem esta informação descartam o lixo e os resíduos do modo mais cômodo já que aparentemente não existe exigência do poder público.

Por último, uma informação não menos relevante obtida através da pesquisa é o fato das empresas associarem o impacto ambiental causado pelo óleo lubrificante somente ao produto bruto, ou seja, coletando-o e vendendo-o a empresas autorizadas elas já teriam feito sua parte para um verdadeiro desenvolvimento sustentável. Porém, como já foi citado neste trabalho, ao óleo lubrificante estão associadas varias formas de impacto ambiental. As estopas sujas de óleo dificilmente são encaminhadas para algum destino limpo, sendo geralmente deixadas junto ao lixo comum. A água que lava a roupa dos funcionários se contamina com óleo, e esta também não é levada em conta, ela escorre pelo esgoto sem nenhum tipo de tratamento anterior de separação ou neutralização.

A constatação é de que provavelmente estes outros modos de impacto ambiental associado ao óleo lubrificante sejam uma fonte perigosa de resíduos que é destinada direto ao meio ambiente. Foge ao objetivo deste trabalho determinar efetivamente se esta porção de resíduos é quantitativamente perigosa, a conclusão real do trabalho é que este tipo de poluição existe e deve ser motivo para preocupação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR10004: Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

CARRETEIRO, Ronald P.; BELMIRO, Pedro Nelson A. **Lubrificantes e Lubrificação Industrial.** Rio de Janeiro: Interciência: IBP, 2006.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Dispõe sobre o Rerrefino de Óleo Lubrificante. Resolução nº 365, de 23 de junho de 2005. abr./jun., 2. Trim. de 2005 Legislação Federal.

FERRAREZI, Dino. **Fundamentos de Usinagem dos Materiais.** São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

GOMES Priscila Luggeri; OLIVEIRA, Vinícius Balthazar Pereira de; NASCIMENTO, Elson Antonio do. Aspectos e impactos no descarte de óleos lubrificantes: O caso das oficinas. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, IV, 2008, Niterói. **Resumos.** 31 Jul, 1 e 2 Ago 2008. p.1-15.

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS INICIAIS PARA PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM DO PROCESSO GMAW EM JUNTAS DE AÇO ARBL PARA TUBULAÇÃO DE PRETRÓLEO (OLEODUTO)

C. R. L. Martins[1], J. P. Veronese[1], A. R. Andrade[1] e E. C. S. da Silva[2]
[1]Instituto Federal da Paraíba - Campus Cajazeiras e [2]Universidade Federal de Pernambuco
reillen@gmail.com – jpveronese@hotmail.com – xandreriband@yahoo.com.br – edlaine.sinezio@gmail.com

RESUMO

Este trabalho traz uma apresentação sucinta do cenário nacional no que tange a utilização de processos de soldagem para a união de tubulações. Descreve a relevância da utilização de materiais de aço carbono melhorados por processos termomecânicos, denominados neste trabalho por aço ARBL (aço de Alta Resistência e Baixa Liga) em seguimentos industriais estratégicos, como é o caso da indústria de petróleo e gás natural, bem como a necessidade de se desenvolverem mais pesquisas sobre estes materiais e a sua inter-relação com os processos de fabricação. É apresentado também um exemplo de software e de como a utilização de tais recursos minimiza os possíveis erros no planejamento e seleção de métodos e processos de fabricação, bem como na execução das atividades de construção e montagem, otimizando o tempo e diminuindo os custos da atividade de engenharia. Como resultados relevantes, é apresentado o estudo de caso demonstrando a possibilidade de utilização de aços ARBL classificados compo API 5L Grau-X80 na construção de oleodutos.

Palavras-chave: Soldagem, Aço ARBL, oleoduto

1. INTRODUÇÃO

Desde séculos às sociedades humanas vêem procurando desenvolver suas habilidades, no intuito de aproveitar melhor os recursos disponibilizados pela natureza e obter maiores facilidades para a manutenção da vida. Muitos mecanismos utilizados em nosso cotidiano, quer seja em nossos lares ou em nosso ambiente de trabalho, principalmente nas indústrias, só são possíveis graças aos avanços nos processos de soldagem.

Este trabalho tem como objetivo apresentar alguns requisitos para a determinação dos parâmetros de soldagem com o intuito de prover meios para a elaboração de um procedimento de soldagem em construção e montagem de dutos de aços ARBL (Alta Resistência e Baixa Liga), material que possui alta resistência mecânica. Tem também o objetivo de auxiliar os profissionais da área de tubulação, aumentando os esforços para a disponibilização de literatura em língua portuguesa neste seguimento industrial. O estudo aprofunda algumas etapas fundamentais e de suma importância na elaboração de um procedimento de soldagem, como a determinação dos parâmetros iniciais de soldagem através do software Soldasoft, tendo em vista que cada junta soldada deve ter o seu procedimento de execução e teste como documentos exigidos por norma, e principalmente, pelos clientes, afim de garantir a qualidade e segurança de todos os profissionais envolvidos.

Quanto aos diferentes tipos de materiais, o aço carbono é o que compõe cerca de 95% em peso de toda tubulação e equipamentos encontrados em uma refinaria típica de petróleo. É essa, portanto, a justificativa para nos reportarmos aos materiais ferrosos durante esse trabalho. A justificativa para o estudo da execução de soldagem a arco elétrico com proteção a gás (MIG/MAG ou GMAW) para uma determinada família de aços estruturais e tubulação, muito empregada na indústria de petróleo e gás natural, é a possibilidade de aumentar a disponibilidade de informações sobre tal processo, afim de tornar-lo mais difundido na industria nacional.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Dentre todos os materiais usados no seguimento de petróleo e gás no Brasil, os mais importantes são o aço carbono, aço inoxidável e o aço liga. Destes, o aço carbono é o que compõe cerca de 95% em peso de toda tubulação e equipamentos encontrados em uma refinaria típica de petróleo. Isso se deve ao foto de, além de ser um material de fácil soldabilidade e de fácil obtenção, é o material metálico de menor preço em relação à sua resistência mecânica. (TELLES, 2003)

Dentre os aços carbono utilizados para a construção de oleodutos, podemos destacar os aços ARBL (Alta Resistência e Baixa Liga). A motivação para o desenvolvimento dos aços de alta resistência e baixa liga – ARBL (em inglês High Strength Low Alloy – HSLA) ou aços microligados, se deve as necessidades impostas pelo mercado em busca de aços cada vez mais resistentes e com menores quantidades de elementos de liga, sempre com vistas à redução de custos e a garantia de uma boa soldabilidade. (MARTINS, 2009)

Os aços de alta resistência e baixa liga (ARBL), ou aços microligados, são aços onde ocorre um rigoroso controle, tanto na forma de produzir, quanto na forma de processar. Esses aços são aplicados como aços estruturais, aços para a indústria automobilística, aços para tubulação, vasos de pressão, etc. Podem ser agrupados ainda como aços bifásicos (dual phase), aços de perlita-reduzida (reduced-pearlite), aços laminados controladamente, aços spray-quenched, etc. É interessante não deixar-se confundir pelas diversas nomenclaturas, devendo ater-se as propriedades e características que se exige para as diversas aplicações a que se dispõem os aços ARBL. Estas decorrem basicamente de sua composição química, processamento e, como conseqüência destes, da sua macro e microestrutura. (MARTINS, 2009)

Devido à impossibilidade de se produzir tubos nas dimensões lineares de acordo com o projeto ao qual tal equipamento deva atender; esses são produzidos em dimensões padronizadas, em varas comerciais de 6 m de comprimento e múltiplos deste valor. Para atender os comprimentos exigidos em projeto, essas varas devem ser ligadas umas as outras, assim como aos demais equipamentos que irão compor a tubulação. A essas diferentes formas de conectar tubos e equipamentos, dá-se o nome de meio de ligação.

Os principais meios de ligação de tubos são: Ligação Soldada; Ligação Rosqueada; Ligação Flangeada; Ligação de Ponta e Bolsa; Ligação de Compressão; e Ligações Patenteadas. (FERRAZ, 2009) Destes, iremos nos ater as ligações flangeadas e ligações soldadas, pois são nestes tipos de meio de ligação que utiliza-se os procedimentos de soldagem. Na ligação flangeada quando une-se o flange ao tubo, e na ligação soldada, na execução da ligação das varas de tubo.

Uma ligação flangeada é composta por um par de flanges, um jogo de parafusos ou estojos com porcas e uma junta de vedação. É empregado em tubulações com 2” de diâmetro e maiores, sendo ligações de fácil desmontagem. Nada impede que sejam aplicadas a diâmetros menores, caso haja necessidade, devido a fatores como altas pressões de serviço, fluidos perigosos e/ou explosivos com requisitos de níveis de segurança apreciáveis, etc. (TELLES, 2003) São encontradas normalmente nas ligações entre os tubos e as válvulas e/ou equipamentos tais como bombas, caldeiras, tanques, compressores, etc. No correr das linhas da tubulação, podem também ser encontradas nos pontos onde seja necessário a facilidade de desmontagem da linha. Contudo, como regra geral as ligações flangeadas devem ser usadas no menor número possível, pois representam pontos de possível vazamento, e porque são peças caras, pesadas e volumosas. (FERRAZ, 2009)

As ligações soldadas são as mais amplamente utilizadas em tubulações industriais, com solda por fusão, sendo a solda de topo e a de encaixe as principais. Essas ligações apresentam como principais vantagens uma boa resistência mecânica, em geral, equivalente a do tubo; estanqueidade permanente

e de excelente confiabilidade; aparência estética apropriada; facilidade na aplicação de isolamento térmico; facilidade na execução de pintura; menores cuidados quanto a manutenção da união. Como principais desvantagens, podemos citar a dificuldade de desmontagem das tubulações e a necessidade de mão-de-obra especializada, o que, na maioria dos casos, não é tão significante.

Esse tipo de ligação é permitido, sem restrições de serviço, pressão e temperatura de trabalho, em tubos de qualquer material metálico, desde que seja possível estabelecer um procedimento de soldagem devidamente qualificado. Neste sentido, a norma ASME B 31.3 apresenta numerosas recomendações sobre soldagem de tubos, com destaque para seqüência de soldagem, tratamentos térmicos, qualificação de soldadores, testes de inspeção e aceitação, entre outros pontos importantes. (ASME B 31.3, 2006)

Dentre os diferentes tipos de processos de soldagem, aparecem com maior relevância os processos de soldagem semi-automáticos e os automatizados por apresentaram vantagens quanto a produtividade e maior controle do processo, trazendo assim menores custos na produção de oleodutos. Podemos destacar os processos de soldagem FCAW (Flux-Core Arc Welding), SAW (Submerged Arc Welding), GTAW (Gas-shielded Tungsten Arc Welding) e GMAW (Gas-shilded Metal Arc Welding) como os mais amplamente utilizados na união de tubulações do seguimento industrial de petróleo e gás natural. Neste artigo iremos focar o processo de soldagem GMAW.

Esse processo é conhecido no Brasil por MIG/MAG. Nesse processo de soldagem a união das peças é feita pela fundição do consumível de soldagem (eletrodo nu) e parte do material base. Um arco elétrico é estabelecido e mantido entre o eletrodo consumível e a peça de trabalho. A proteção da junto é propiciada pelo gás de proteção que é aspergido sobre a junta. Quando o gás interage com a junta, diz-se que o gás é ativo, então temos o processo MAG (Metal Active Gas). Nesse processo, temos como gás de proteção o CO_2, ou misturas ricas deste com He e/ou Ar e O_2. O objetivo do gás de proteção é, além de evitar a contaminação da junta pelo ar atmosférico, proporcionar a estabilidade do arco elétrico, estabilizar a forma de transferência metálica entre o consumível e a poça de fusão, e melhorar as propriedades conseguidas na junta. Quando o gás de proteção é inerte, Ar puro, He puro, ou misturas pobres de CO_2, ou de O_2, com esses, o processo é denominado MIG (Metal Inert Gas). A utilização de He como gás de proteção para soldagem é maior nos EUA, pois o país possui grandes jazidas desse gás, o que o torna economicamente mais viável. (MARTINS, 2009)

A soldagem MIG/MAG é um processo normalmente semi-automático, em que a alimentação do arame eletrodo é feita mecanicamente, através de um alimentador motorizado, onde a responsabilidade maior do soldador é iniciar e finalizar o filete de solda e controlar a velocidade de soldagem (velocidade com que o cordão de solda é produzido; velocidade relativa entre a tocha de soldagem e a peça). A manutenção do arco é garantida pela alimentação contínua do arame eletrodo e o comprimento do arco é, em principio, mantido aproximadamente constante pelo próprio sistema, independente dos movimentos do soldador, dentro de certos limites. (MARTINS, 2009)

Esse processo de soldagem é apontado como um dos mais usados com robôs industriais. Como trabalha com um arame contínuo e com elevadas densidades de corrente no eletrodo, e portanto, apresenta uma elevada produtividade, tais fatores tem levado a uma utilização crescente deste processo em países desenvolvidos, onde o decréscimo do número de soldadores e a necessidade de maior produtividade causaram a substituição da soldagem com eletrodos revestidos em várias aplicações. (MARQUES et al, 2007)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Para este trabalho, selecionamos um tubo de aço classificado segundo a norma API 5L como tubo API 5L Grau-X80 de diâmetro 34 pol (863 mm) e espessura de parede de 0,750 pol (19 mm), fabricado no Brasil. A composição química da tubulação é apresentada na tabela 01. Selecionamos como arame de soldagem o consumível AWS ER80S-G que segue a norma AWS 5.28. A composição química do consumível de soldagem é apresentada na tabela 02. Utilizamos como simulador o software SoldaSoft disponibilizado no laboratório de informática do CTG/UFPE (Centro de Tecnologia e Geociência da Universidade Federal de Pernambuco) durante curso de especialização promovido pelo 2º ciclo do PROMINP - PE (Programa de Mobilização da Indústria Nacional de Petróleo e Gás - Pernambuco).

Tabela 01 - Composição química do aço API 5L Grau-X80, fornecedor: TenarisConfab.

Elemento de Liga	C	S	N	O	Al	Si	P	Ti	V	Cr	Mn	Ni
Concentração em Peso (%)	0,03	0,004	0,0065	NR	0,029	0,21	0,016	0,015	0,025	0,161	1,76	0,014

Elemento de Liga	Cu	Nb	Mo	B	Ca	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	PCM	CE
Concentração em Peso (%)	0,01	0,069	0,189	0,0001	0,003	0,11	0,09	0,37	4,60	0,38	0,15	0,40

(A) = Nb+V+Ti

(B) = V + Nb

(C) = Cr + Ni + Cu + Mo

PCM = $C + Si/30 + (Mn + Cr + Cu)/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10 + B*5$

CE = $C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$

(D) = Al / N

(E) = C + Mn/5

Tabela 02 – Composição química segundo a AWS 5.28, para o arame sólido AWS ER80S-G.

Composição química do arame AWS ER80S-G (Concentração em Peso (%))					
C	Mn	Si	Ni	Cu	Cr
0,1	1,4	0,8	0,8	0,3	0,2

3.2 Métodos

Para determinar as variáveis fundamentais para a possível elaboração do procedimento de soldagem (EPS) a posteriore e para uma possível qualificação desse procedimento, os dados iniciais foram determinados a partir do programa SoldaSoft. A metodologia utilizada é descrita como a seguir.

O primeiro passo foi selecionar o tipo de junta que será utilizada. Depois indicamos os parâmetros iniciais de soldagem aleatoriamente com as unidades de medida apropriadas, o que pode ser observado na figura 01 e figura 02, respectivamente. Desta forma o software nos indica os prováveis tempos de

resfriamento entre as temperaturas 800°C e 500°C ($t_{8/5}$), que é a temperatura de referência para as transformações microestruturais. Aproximam-se os parâmetros de soldagem de maneira a adequar o $t_{8/5}$ de forma a se estabelecer os parâmetros de soldagem dentro da realidade das práticas de soldagem considerando entre outros fatores, o fator econômico.

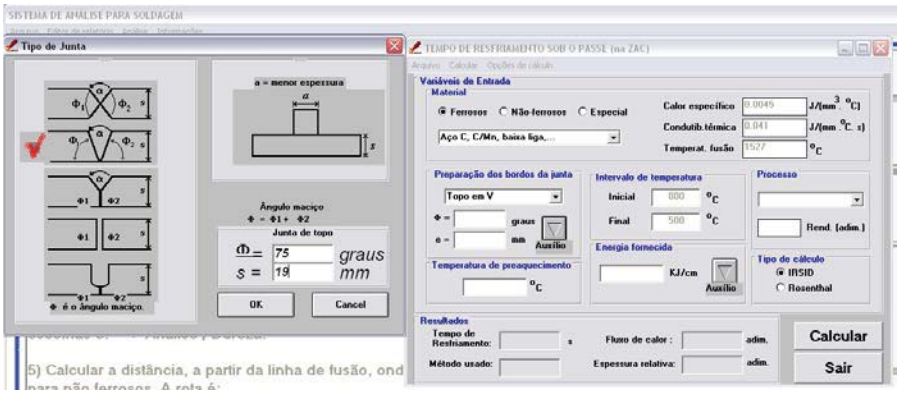


Figura 01 – Seleção do tipo de junta no software SoldaSoft.

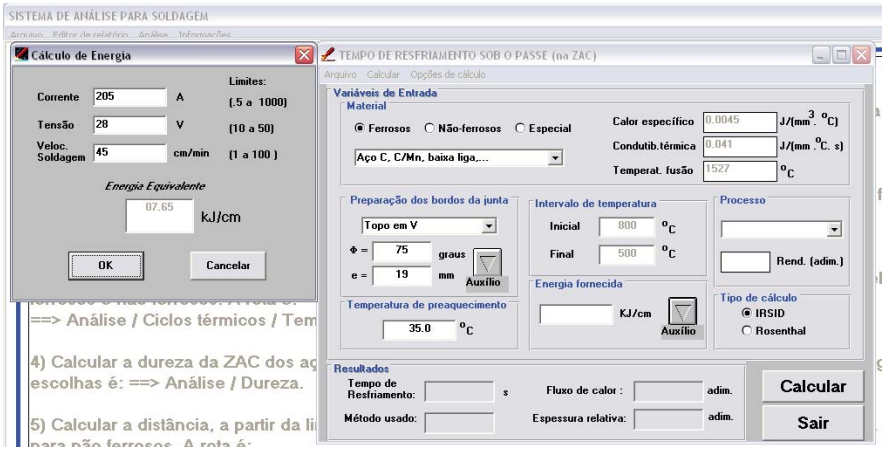


Figura 02 – Entrada com os Parâmetros de Soldagem para o cálculo de Energia de Soldagem

Após a seleção dos parâmetros corrente de soldagem, tensão de soldagem e velocidade de soldagem, o software responde nos fornecendo a energia de soldagem para os valores escolhidos. Desta forma chegamos aos valores de 205 A para a corrente de soldagem, 28 V para a tensão de soldagem e 45 cm/min para a velocidade de soldagem como pode ser visto na figura 02. Selecionamos então o processo de soldagem a ser utilizado, que no nosso caso é o MIG/MAG e indicamos a temperatura de pré-aquecimento. Como queremos encontrar dados para um procedimento de soldagem sem pré-aquecimento, considerando desta forma menores custos para o procedimento de soldagem, este valor foi definido como 35°C, que é a temperatura ambiente na região Nordeste do Brasil. Desta forma o software nos responde calculando uma energia de soldagem da ordem de 7,7 kJ/cm, como é mostrado na figura 03.

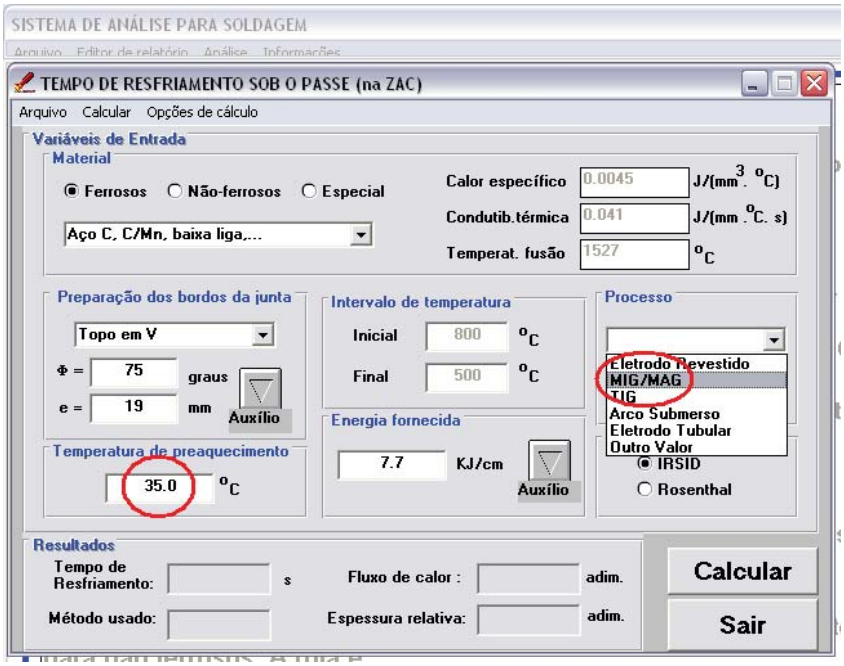


Figura 03 – Determinação de temperatura de pré-aquecimento e seleção do processo de soldagem

Utilizamos ainda os dados de composição química do aço que será material base da junta soldada, e que está apresentado na tabela 01, para conseguir uma previsão da dureza máxima da Zona Afetada pelo Calor (ZAC), conforme ilustrado na figura 04.

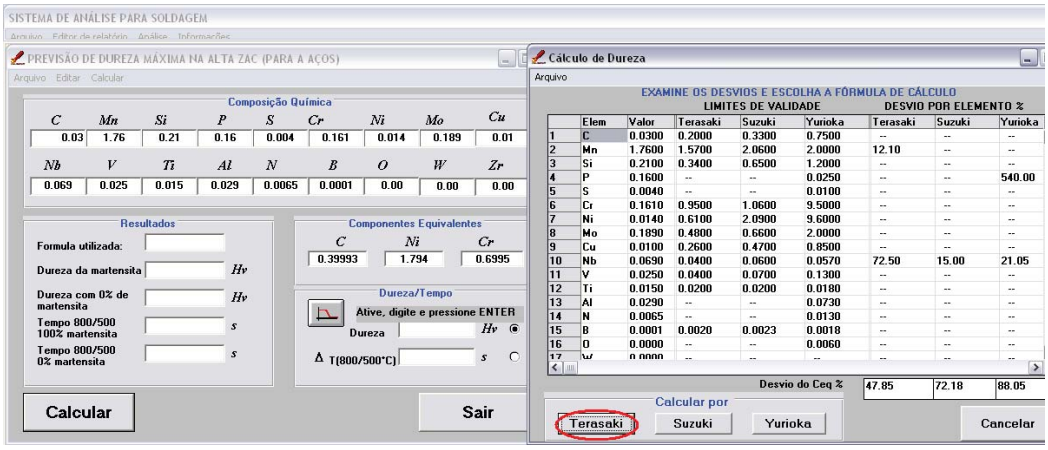


Figura 04 – Dados de composição química do aço e seleção do método de cálculo.

O software possibilita o cálculo por três métodos distintos, que devem apresentar resultados significativamente próximos, a fim de possibilitar uma margem de segurança aceitável para a elaboração do procedimento de soldagem.

4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Após as etapas ilustradas pelas figuras 01, 02 e 03, selecionamos o método de calculo entre os dois tipos disponibilizados pelo software e podemos então dar o comando de calcular. O software nos indica

como dado de saída os tempos de resfriamento entre 800°C e 500°C pelo método de Rosenthal $t_{8/5}$ igual a 5 s e pelo método IRSID $t_{8/5}$ igual a 6 s conforme figura 05.

Estes tempos são interpretados como o tempo necessário para ocorrer às transformações na microestrutura da ZAC mais relevantes, e que aqui representam o tempo mínimo que se deve aguardar para se executar o passe seguinte de soldagem. Desta forma há uma boa previsão para que defeitos na soldagem em virtude da fragilização do material não ocorram. Consideramos por este fato que o material apresenta uma boa soldabilidade.

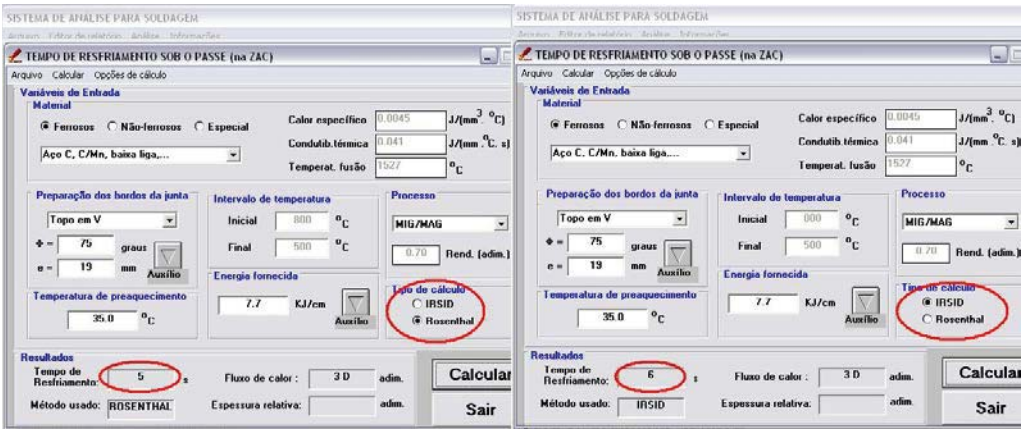


Figura 05 – Cálculo do $t_{8/5}$ pelos dois métodos disponibilizados pelo software.

Quanto aos dados de dureza máxima da ZAC, após fornecidos os dados de composição química do material base e seleção do método de cálculo, o software nos fornece uma curva Dureza (Hv) X Tempo de Resfriamento (s), onde podemos otimizar o tempo de espera entre a execução de um passe de soldagem e o passe subsequente necessário para garantir uma dureza da ZAC dentro dos requisitos de dureza para a utilização do oleoduto, a fim de garantir a melhor performance possível para a tubulação. Para o método de cálculo de Terasaki, o tempo razoável foi estimado em 20 s para uma dureza Hv de 245 como mostra a figura 06.

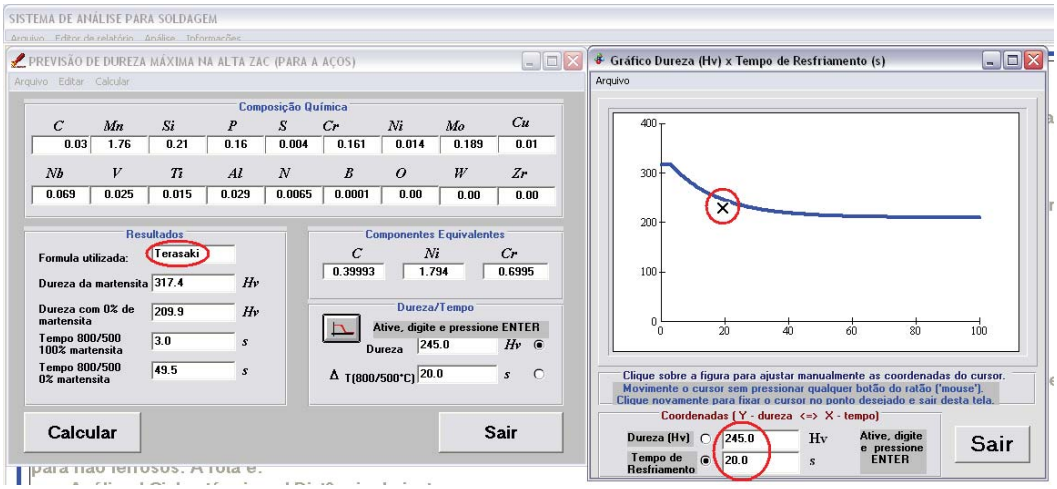


Figura 06 – Seleção do tempo $t_{8/5}$ para dureza na ZAC pelo método de cálculo de Terasaki

Para o método de cálculo de Suzuki o tempo razoável foi estimado em 20 s para uma dureza Hv de 245,3 como mostra a figura 07.

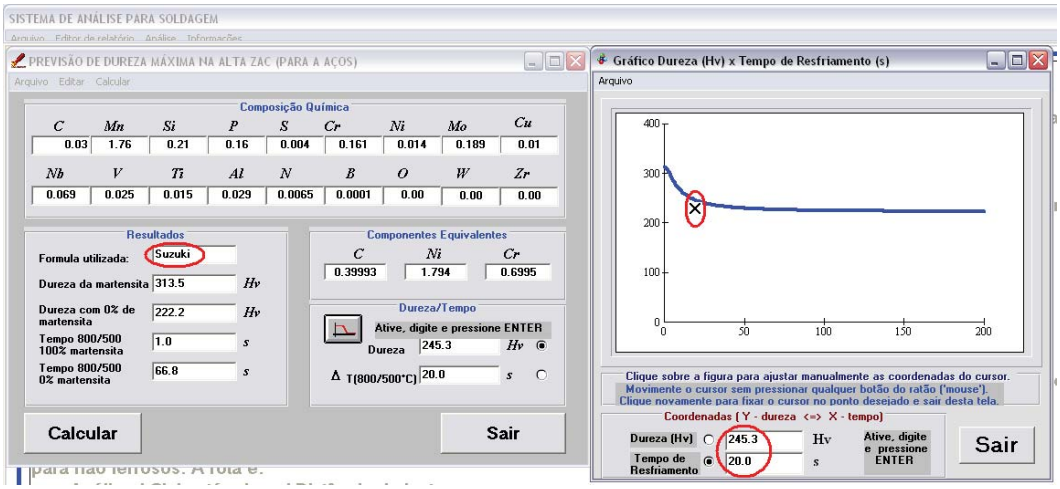


Figura 07 – Seleção do tempo $t_{8/5}$ para dureza na ZAC pelo método de cálculo de Suzuki

Para o método de cálculo de Yurioka o tempo razoável foi estimado em 97 s para uma dureza Hv de 245,4 como mostra a figura 08.

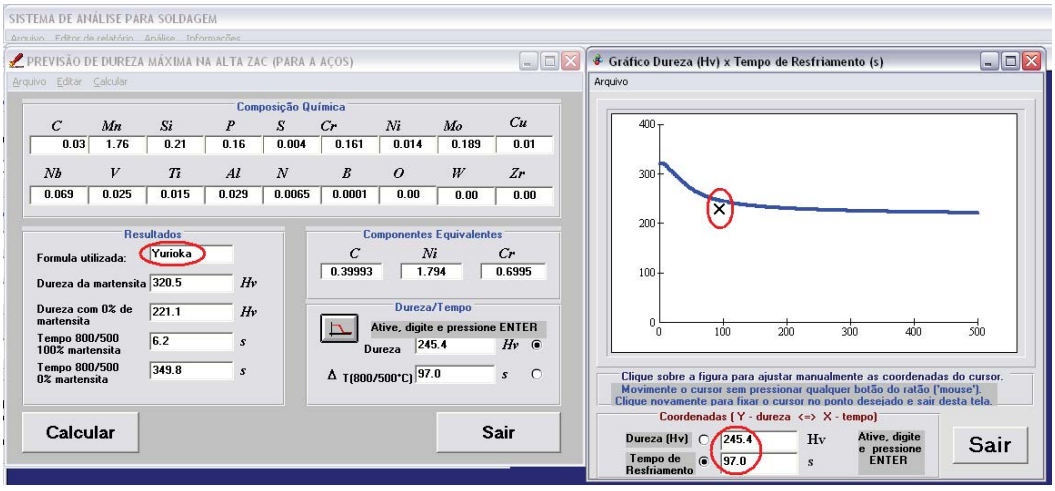


Figura 08 – Seleção do tempo $t_{8/5}$ para dureza na ZAC pelo método de cálculo de Yurioka

Se levarmos em consideração a pior situação apresentada, que é o tempo $t_{8/5}$ calculado pelo método de Yurioka, o tempo de espera entre passes subseqüentes é bastante razoável (cerca de 1min30s), o que torna possível se executar a soldagem deste material de maneira a atender os requisitos de qualidade exigidos pelo seguimento de petróleo e gás natural.

5. CONCLUSÃO

É adequado utilizar tempos de resfriamento entre 800°C e 500°C na ordem de 30 a 60 segundos, pois o material submetido ao processo de soldagem possui uma elevada dureza. Deste modo não se faz necessário conseguir uma microestrutura com 0% de martensita.

Para a qualificação do procedimento de soldagem, este deve atender aos requisitos da norma API 1104. Por este motivo é que o trabalho apresenta dados iniciais de parâmetros de soldagem (tensão, correte, velocidade de soldagem e tempo entre passes) para uma possível especificação de procedimento de soldagem. Este material serve de ponto de partida para a qualificação de procedimento de soldagem para os tubos da família API 5L Grau-X80.

Os resultados apresentados pelo programa SoldaSoft precisam ser fundamentados com experimentos que comprovem a adequada seleção dos parâmetros de soldagem fundamentados nele (programa SoldaSoft) e apresentado neste trabalho.

REFERÊNCIAS BILIOGRÁFICA

ANALISADOR DE PROCEDIMENTOS DE SOLDAGEM, Copyright © SOLDASOFT 1995, Registro INPI 96000684, Versão 99/1, Licenciado para o Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE.

FERRAZ, F. B.; Meios de ligação de tubos, conexões de tubulação, válvulas industriais; 2009. 46p. Apostila (Curso técnico em eletromecânica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Santo Amaro, 2009.

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL EGINEERS.ASME B 31.3 : Process Piping: ASME Code for Pressure Piping, B31. New York, 2006.

TELLES, P. C. S.; Materiais para equipamentos de processos; 6. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q.; Soldagem: fundamentos e tecnologia; 1. Ed. Minas Gerais: Belo Horizonte; Editora UFMG, 2007.

MARTINS, C. R. L.; Orientação para procedimento de soldagem pelo processo GMAW para tubulações de petróleo e gás natural. 2009. 52p. Monografia (Especialização em Engenharia) – Centro de Tecnologia e Geociência, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

DIMENSIONAMENTO E BENEFICIOS DE UM SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO POR ADSORÇÃO TENDO COMO FONTE DE ENERGIA A RADIAÇÃO SOLAR

Carlos Erlan Olival Lima[1] e Francisco das Chagas Batista Santos[2]
[1]Instituto Federal do Piauí - Campus Teresina Central e [2]Instituto Federal do Piauí – Campus Teresina Central
erlanolival@gmail.com – fcbs@bol.com.br

RESUMO

O dimensionamento e os benefícios referentes ao estudo são apresentados. Este climatizador irá operar em um ciclo permanente e será composto por um coletor – adsorvedor estático com uma inclinação de 25° em relação à horizontal, além disso, será composto por um condensador, um evaporador e um fan – coil. Este sistema tem como objetivo a climatização de ambientes utilizando uma energia completamente renovável e não poluente, a qual será obtida através da irradiação solar sendo que as análises feitas mostram que o sistema terá amplas condições de concorrer com outros sistemas que utilizem esta fonte de energia, além de ser um bom investimento para substituir os sistemas que utilizam compressores, sendo que o coletor – adsorvedor será responsável por substituir o compressor, isto ocorrerá através da migração das moléculas do adsorvato, as quais se deslocarão para dentro e fora do adsorvente através das diferenças de pressão existentes entre a pressão de vapor do adsorvente que será a cerâmica denominada zeólita e do adsorvato, que será a água. A obtenção de todos os valores concernentes a este projeto foi obtida por meio de análises matemáticas nos softwares MATLAB e EES (Engineering Equation Solver).

Palavras – chave: climatizador, evaporador, condensador.

1. INTRODUÇÃO

O sistema apresentado utiliza o princípio de estocagem de energia. Em muitos sistemas de resfriamento convencional, há dois tipos principais de sistemas de resfriamento, o primeiro estoca calor sensível, neste caso a temperatura do material responsável por armazenar a energia irá variar com a quantidade de energia armazenada. O outro tipo armazena calor latente, portanto ele faz uso da energia armazenada quando a substância muda de uma fase para outra. Os dois sistemas mencionados operam a baixas temperaturas, sendo que as temperaturas de armazenamento de energia do tanque são menores que a temperatura ambiente, isso acaba acarretando perda de energia durante o processo de estocagem, fazendo com que estes sistemas tenham bastante desvantagem quando se deseja armazenar energia por um longo período (LU, Y. Z. et al.,2003).

O princípio de trabalho da adsorção envolve processos de reversão físico-química, onde há o armazenamento de energia via adsorção. Neste caso a capacidade de resfriamento pode ser armazenada por grandes períodos sem nenhuma perda de energia e sem nenhuma poluição. Este processo pode ser utilizado por sistemas de resfriamento que necessitem de uma elevada potência, sendo que a fonte geradora de energia pode ser um motor de exaustão ou um coletor solar.

Neste trabalho será apresentado o dimensionamento do protótipo baseado no princípio da reversão físico-química. Este protótipo terá como aplicação o fornecimento de ar condicionado para um laboratório de eletrônica.

2. DESCRIÇÃO DO CLIMATIZADOR SOLAR

O sistema proposto nesse trabalho é composto por quatro partes principais:

- Fan – Coil;
- Evaporador;
- Coletor - Adsorvedor;
- Condensador;

Este sistema irá utilizar o par zeólita - água, sendo a zeólita o adsorvente e a água o adsorvato. O sistema tem como objetivo a climatização de ambientes utilizando uma energia completamente renovável e não poluente, a qual será obtida através da irradiação solar, a qual será absorvida pelo coletor solar e será utilizada para fornecer calor ao reator para que se consiga a dessorção (liberação das moléculas) do adsorvato a partir do aumento da temperatura do adsorvente. Neste trabalho será apresentado o dimensionamento do Fan-Coil, do evaporador e do condensador.

2.1 Dimensionamento do Fan – Coil

O fan – coil será composto por 54 fileiras de tubos de cobre com diâmetro de 23 mm e espessura de 1 mm, sendo que estas fileiras serão dispostas em um arranjo em linha com um passo de 25,2 mm entre cada fileira. O passo será o mesmo, tanto na horizontal quanto na vertical e o comprimento dos tubos de cada fileira será de 0,5 m. O número de fileiras longitudinais é 6 e o número de fileiras transversais é 9.

A velocidade de aproximação, ou seja, a velocidade do ventilador será de 5,25 m/s, quando a temperatura de entrada for de 38 °C e a temperatura de saída for de 24 °C, sendo que o fluido que escoará no interior dos tubos será água em estado líquido, que trocará calor com o ar, sendo que a temperatura de entrada será de 7°C e a temperatura de saída será de 13°C. A velocidade com que a água escoará no interior dos tubos será de 1 m/s.

O esquema do fan – coil é exibido na figura 1.

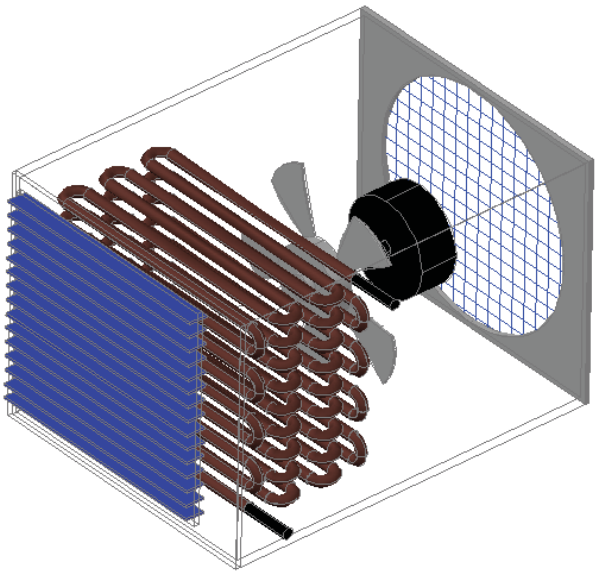


Figura 1 - Fan-Coil

2.2 Descrição do Evaporador

O evaporador será composto pelo vaso de pressão no formato de um cilindro com tampas semi-esféricas, pelo qual passarão os tubos de cobre, que formarão uma serpentina, esta serpentina fornecerá calor para o fluido que está dentro do vaso de pressão, o qual entrará em ebulição liberando vapor de água, o qual se encaminhará para o coletor - adsorvedor.

Os tubos de cobre terão diâmetro externo de 23 mm e 1 mm de espessura, por eles será escoado água na velocidade de 1 m/s, sendo que a água no interior dos tubos entrará com a temperatura de 13°C e sairá com a temperatura de 7°C, fornecendo assim calor para a água que se encontra no interior do vaso de pressão. A serpentina terá um comprimento de 3,27 m distribuídos em 10 fileiras de 32,7 cm com um passo de 2,54 cm entre cada fileira.

O evaporador será composto também por um manovacuômetro, dois visores de nível, para observar a ebulição no interior do vaso de pressão, uma entrada para a bomba de vácuo e lã de vidro, que será utilizada para isolá-lo do ambiente, evitando assim trocas térmicas com o ambiente. O esquema do evaporador é apresentado nas figuras 2 e 3.

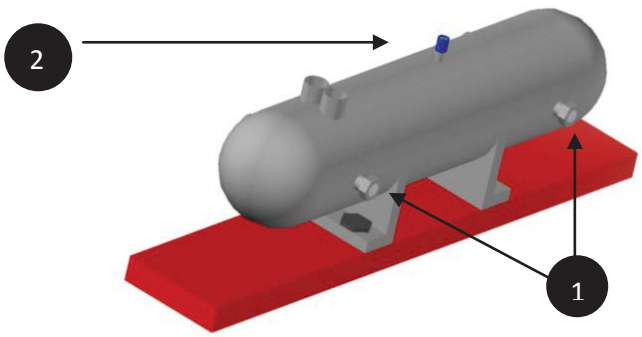


Figura 2 - Vaso de pressão (a): 1-Visores de Nível; 2-Manovacuômetro

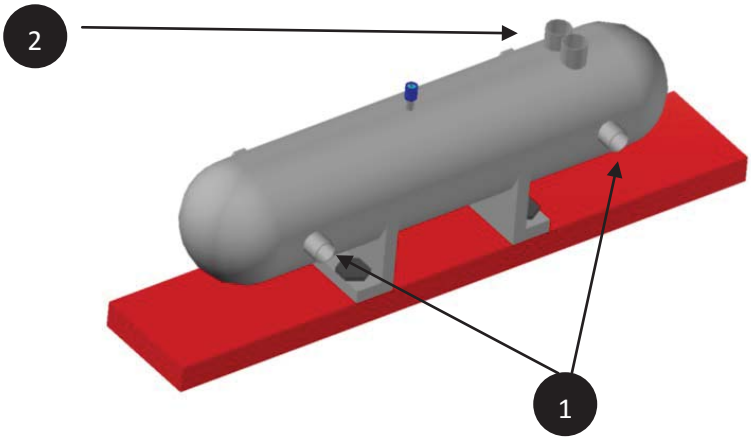


Figura 3 - Vaso de pressão (b): 1- Entrada dos Tubos Trocadores de Calor; 2 – Entradas dos Tubos de Conexão do Evaporador com o Coletor

A bomba de vácuo deverá ter uma velocidade de 42 l/min, o que fará que o recipiente chegue na pressão desejada em 103,2 s, a topologia para este sistema é mostrado na figura abaixo:

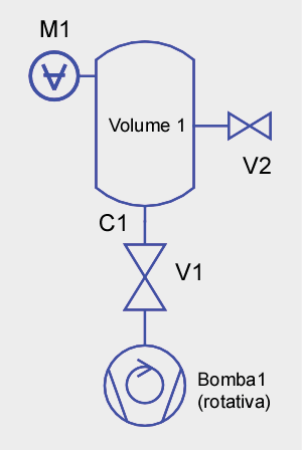


Figura 4 - Vácuo primário – Topologia I, (www.metrovac.com.br)

Na figura 4, V1 representa a válvula de quebra de vácuo e a válvula anti-suckback. Estas duas válvulas têm a finalidade de evitar que ocorra refluxo de óleo da bomba rotativa apenas para dentro da câmara de vácuo devido à ultimate pressure (máxima pressão final que uma específica bomba pode alcançar) e evitar quebra das palhetas quando dá partida na bomba rotativa. C1 está representando o vaso de pressão, que segundo a NR-13 deverá ser de aço inoxidável e ter uma espessura mínima de 6,5 mm; com relação a V2, ele está representando a válvula de segurança, a qual deverá conter o fluido do processo, suportando todos os rigores das condições de operação e também deverá responder ao sinal de atuação do controlador, além disso, deverá variar a área de passagem do fluido Manipulado e absorver a queda variável da pressão de linha. Quanto a M1, ele representa o manovacuômetro, que será responsável por medir a pressão do evaporador.

2.3 Descrição do Condensador

O condensador será formado por 17.8 m de tubos de cobre com diâmetro de 38 mm e espessura de 1 mm. O tempo necessário para que ocorra a condensação será de 1614,65 s, período no qual o vapor de água proveniente do coletor-adsorvedor, deverá sofrer a condensação. A temperatura de condensação será 60°C e a massa de vapor que deverá ser condensada é de 17,5 kg.

O calor latente de condensação será 2359 KJ/Kg e o fluxo de massa será de 39,574 Kg/h, sendo que o coeficiente de transferência de calor será de 2928,01 W/m^2.K e a taxa de transferência de calor será de 25932 W.

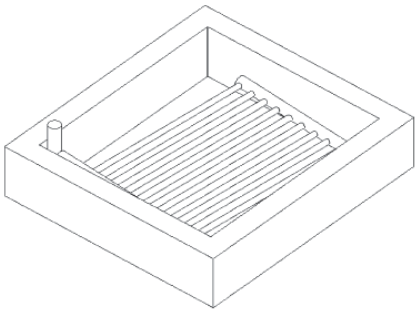


Figura 5 – Esquema do Condensador, A.P.F. Leite (2004)

2.4 Descrição do Tubo Capilar

O tubo capilar terá um diâmetro externo de 3,17 mm e uma espessura 0,79 mm, o material a ser utilizado será o cobre e o seu comprimento total será de 4,31 m, a velocidade de entrada do fluido será de 10,85 m/s. O tubo capilar promoverá a expansão da água em estado de líquido saturado na temperatura de 60 °C para a temperatura de 25 °C, também em estado de líquido saturado. Após a expansão, a água ficará confinada em um reservatório até que o ciclo reinicie. O formato do tubo capilar pode ser observado na figura 6.

Figura 6 – Tubo Capilar, NEVES (2006)

3. COLETOR - ADSORVEDOR

O coletor analisado neste projeto deverá ter um dispositivo concentrador, devido à zeólita necessitar chegar a elevadas temperatura para que possa ocorrer a sua regeneração, mas a base do projeto é os coletores planos.

A maioria dos coletores planos consiste de cinco componentes principais, como é demonstrado no esquema fornecido na figura 7, que são (ABOGDERAH, 1991):

- Uma ou mais coberturas transparentes de vidro ou plástico;
- Uma placa absorvedora, normalmente metálica, de superfície preta, embora outros materiais possam ser utilizados.
- Tubos, passagens ou canais integrados à placa absorvedora ou ligados a ela, os quais carregam água, ar ou outros fluidos;

- Material isolante, o qual é colocado no fundo e nas laterais do coletor para minimizar as perdas de calor.
- Uma caixa para suportar e proteger os componentes do ambiente;

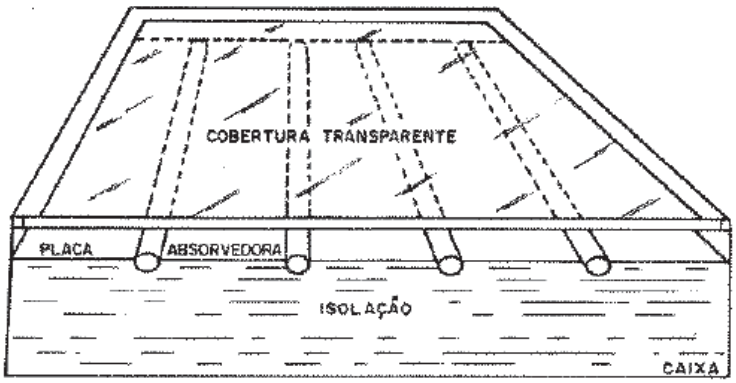


Figura 7 - Esquema de um coletor plano, ABOGDERAH (1991)

A eficiência do coletor depende das perdas térmicas e das perdas óticas. As perdas óticas dependem da transmitância da cobertura τ e da absortância da placa absorvedora α e podem ser diminuídas utilizando uma placa absorvedora com uma superfície seletiva e escolhendo uma placa com alta transmitância de radiação solar e baixa transmitância de radiação infravermelha (ABOGDERAH, 1991).

3.1 Dimensionamento

O coletor solar-adsorvedor consiste de uma série de tubos paralelos separados por uma distância de 5 mm, sendo que estes tubos são colocados entre duas placas de alumínio pintadas com preto malte, as quais estão separadas das placas de policarbonato por uma distância de 5 cm, sendo que as placas de policarbonato são colocadas na parte superior e inferior do coletor para que se possa gerar um efeito estufa no sistema. O coletor possui uma área de 2 m^2, com 2 metros de comprimento e 1 metro de largura, tanto na parte superior quanto na inferior. A massa de adsorvente contida no coletor equivale a 75 kg.

Os tubos de alumínio possuem um diâmetro externo de 50,8 mm e uma espessura de 1 mm, com 2 m de comprimento cada, formando um total de 18 tubos, sendo que cada um possui 4,17 kg de zeólita contida no espaço anular entre a rede metálica de 18,5 mm de diâmetro e o tubo de alumínio. A quantidade de vapor de água introduzida no sistema será de 18 kg.

O esquema do coletor solar e dos tubos é mostrado nas figuras abaixo:

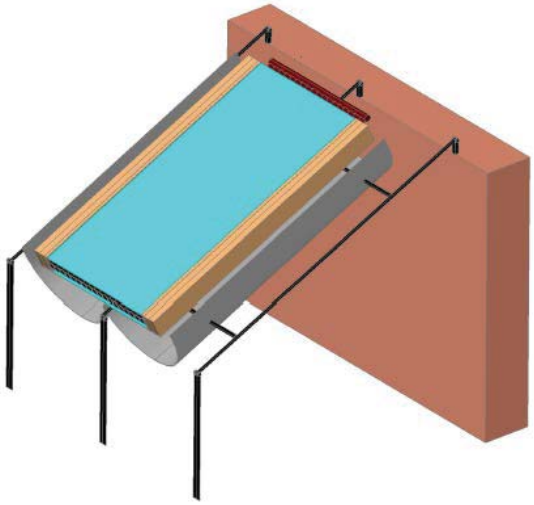


Figura 8 - Esquema do coletor solar

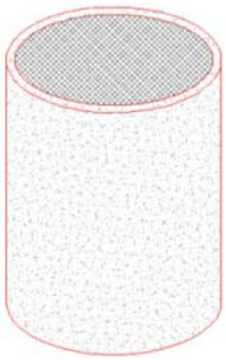


Figura 9 - Tubo do coletor

Como pode ser visto através da figura 8, o coletor adsorvedor será projetado de forma que a radiação solar incide em ambas as faces, para isso serão utilizados refletores cilíndricos na parte inferior, o qual terá duas funções, que são: permitir a incidência de radiação solar na parte inferior durante o dia, e resfriamento da mesma durante a noite. Os refletores serão feitos de bobinas de alumínio brilhoso, para permitir uma melhor reflexão, sendo que a mínima reflexão será de 80%.

4. VANTAGENS DO CLIMATIZADOR

Como já foi dito no inicio deste texto, este sistema consegue armazenar energia por longos períodos sem nenhuma perda de energia e sem provocar poluição, além disso, devido ao fato de ser utilizado o par adsortivo zeólita-água, é possível armazenar quantidades de energia maior do que sistemas que utilizam outro par adsortivo, sendo que o valor dessa energia armazenada pode chegar até 650 KJ/Kg de adsorvente contra 333 KJ/Kg de um sistema de produção de gelo com a mesma massa de adsorvente, claro que este valor de energia armazenada irá depender da temperatura de regeneração, que é um dos inconvenientes da zeólita, pois ela só se regenera em temperatura acima de 200 °C.

Como este sistema não utilizará um compressor, mas apenas uma bomba de vácuo para deixar o evaporador na pressão desejada, sendo que esta não operará continuamente, e duas bombas hidrodinâmicas de baixa potência, que serão utilizadas para promover o deslocamento da água pelos tubos de cobre, sendo assim, o consumo em kWh/mês desse sistema será bem inferior ao dos sistemas convencionais. Enquanto um ar-condicionado que opere por compressão com uma capacidade de refrigeração de 32000 Btu/h terá em média um consumo mensal de 84 kWh/mês, enquanto o protótipo apresentado terá um consumo de apenas 25,2 kWh/mês.

Além destas vantagens que foram apresentadas, este sistema tem a possibilidade de ser utilizado em meios de transporte coletivos, como metrôs e ônibus e em meios de transporte de cargas, como as locomotivas, sendo que nesse caso seria possível utilizar os próprios gases que são liberados para atmosfera com intuito de aquecer o material adsorvente, ou então poderia combinar este sistema com o sistema solar apresentado, permitindo-o ter energia suficiente para climatizar ambientes com grandes áreas. Na figura 10 é apresentado um sistema que utiliza os gases que são liberados pelo escapamento da locomotiva em substituição a radiação solar.

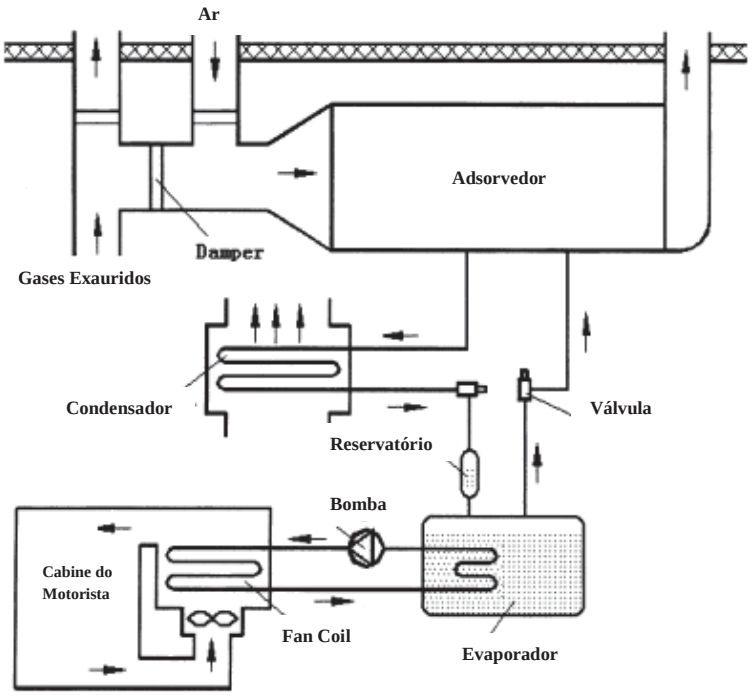


Figura 10 – Esquema de um climatizador para a cabine de uma locomotiva, LU, Y. Z. et al. (2003)

Neste sistema apresentado na figura 10, em vez de utilizar a radiação solar para aquecer o adsorvedor, utilizam-se os gases exauridos pela combustão interna dos motores.

5. CONCLUSÃO

Os parâmetros necessários para o dimensionamento do fan-coil, do evaporador e do condensador foram apresentados neste trabalho, além de novas possibilidades de aplicação desse sistema.

Através de simulações numéricas comprovou-se que o sistema conseguirá chegar a temperaturas em torno de 250°C, o que garante a regeneração da zeólita além de possibilitar que o sistema tenha uma elevada capacidade de armazenar energia, sendo que esta é a parte mais importante do projeto, pois é a partir da adsorção que se chega a determinação dos outros parâmetros.

REFERÊNCIAS

ABOGDERAH, Almabrouk Mansor. Análise Teórica, Numérica e Experimental de um Coletor Solar com Tubos de Calor. Campinas – São Paulo, 1991. Tese de Mestrado.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NR13: CALDEIRAS E VASOS DE PRESSÃO. RIO DE JANEIRO, 1974.

A.P.F. Leite, M.B. Grilo, F.A. Belo, R.R.D. Andrade. Dimensioning,thermal analysis and experimental heat loss coefficients of an adsorptive solar icemaker. *Renewable Energy* [S.I.]. v. 29 p. 1643–1663, 2004.

CURSO: SISTEMA DE VÁCUO [acesso em 26/11/2010] Disponível em www.metrovac.com.br.

LEITE, A. P. F. *et al.* Experimental evaluation of a multi-tubular adsorber operating with activated carbon-methanol. *Adsorption-Journal of the International Adsorption Society* [S.I.], v. 11, p. 543-548, 2005.

LU, Y. Z. *et al.* Adsorption cold storage system with zeolite-water working pair used for locomotive air conditioning. *Energy Conversion and Management* [S.I.], v. 44, n. 10, p. 1733-1743, 2003.

Neves, Flávio Barroso. Método algébrico para dimensionamento e simulação de tubos capilares adiabáticos.São Paulo – SP. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. (Trabalho de formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Graduação em Engenharia Mecânica)

ESTUDO COMPARATIVO DO LIMITE DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DO ALUMÍNIO PURO E DA LIGA AL-1,4%NI SOLIDIFICADOS UNIDIRECIONALMENTE.

NASCIMENTO. L.G.[1], BEZERRA, V. P.[2], MOREIRA. J.B.[3], LOPES, E.[4] e SÁ, F.[5]
[1]Instituto Federal do Pará - Campus Marabá Industrial, [2]Instituto Federal do Pará - Campus Marabá Industrial [3]Instituto Federal do Pará – Campus Belém, [4]Instituto Federal do Pará – Campus Belém e Universidade Federal do Pará[3]
luiz.nascimento@ifpa.edu.br – jhonathan.moreira@sinobras.com.br – vanessa_bezerra1@hotmail.com – evandrojunho@gmail.com – sa@ufpa.br

RESUMO

O alumínio é o metal mais utilizado no campo da engenharia, este material desperta interesse por combinar-se com a maioria dos chamados elementos de liga. Dependendo das combinações é possível ajustar suas características de acordo com a aplicação final do produto, mas para que esta associação ocorra é necessário obter um conhecimento necessário das vantagens e limitações de cada elemento constituinte. Para a liga ser aplicada no setor industrial algumas exigências são avaliadas como: resistência mecânica, resistência à corrosão e ao ataque de substâncias químicas, condutibilidade elétrica, usinabilidade, ductibilidade, formabilidade, dentre outros. O conhecimento das propriedades mecânicas adquiridas após a fusão da liga é muito importante, pois é a partir dos ensaios mecânicos que pode ser analisado se a combinação dos elementos é viável e pode ser aplicado em diferentes setores industriais. Logo, o presente trabalho tem como objetivo analisar o limite de resistência a tração do alumínio puro da liga Al-1,4%Ni solidificada direccionalmente, a fim de avaliar as propriedades mecânicas do alumínio puro solidificado e da liga Al-Ni quando submetido ao ensaio de tração.

Palavras-chave: solidificação, limite de resistência a tração, Al-1,4%Ni

1. INTRODUÇÃO

O grande alcance das ligas metálicas oferece à indústria uma grande variedade de combinações de resistência mecânica, resistência à corrosão e ao ataque de substâncias químicas, condutibilidade elétrica, usinabilidade, ductibilidade, formabilidade, entre outros benefícios. A função de cada elemento da liga se altera de acordo com a quantidade dos elementos presentes na liga e com a sua interação com outros elementos.

Em geral, podemos dividir os elementos entre: elementos que conferem à liga a sua característica principal (resistência mecânica, resistência à corrosão, fluidez no preenchimento de moldes, etc.) e elementos que têm função acessória, como o controle de microestrutura, de impurezas e traços que prejudicam a fabricação ou a aplicação do produto, os quais devem ser controlados no seu teor máximo.

A fusão de metais e a conseqüente solidificação são etapas importantes na obtenção dos mais variados bens usados em nosso dia-a-dia. O estudo da solidificação de metais e ligas em sistemas metal/molde tem como objetivo encontrar meios de aliar as melhores características desejadas e, ao mesmo tempo, prevenir a ocorrência de defeitos durante o processo de solidificação.

O uso do níquel pelo homem é conhecido desde a antiguidade. A presença do níquel na composição de moedas japonesas de 800 anos A C. gregas de 300 anos A C., e em armamentos de 300 ou 400 anos A C. são os primeiros registros de uso desse metal pelo homem. No entanto, a utilização do níquel no processo industrial verifica-se somente após a obtenção da primeira amostra de metal puro por Richter em 1804, e do desenvolvimento da liga sintética de ferro-níquel por Michael Faraday e associados em 1820. Em 1870, Fleitman descobre que a adição de uma pequena quantidade de magnésio tornava o níquel maleável, e em 1881 é cunhada a primeira moeda de níquel puro.

Atualmente a presença e o uso do níquel é cada vez mais frequente na vida do homem moderno. Este elemento é utilizado em diversas ligas, como o aço inoxidável, em galvanização, fundições, catalisadores, baterias, eletrodos e moedas. Dessa forma, o níquel está presente em materiais, produtos e equipamentos de transporte, no setor bélico, em equipamentos eletrônicos, produtos químicos, equipamentos médico-hospitalares, materiais de construção, equipamentos aeroespaciais, bens de consumo duráveis, pinturas, e cerâmicas. Diante dessa enorme diversidade de usos industriais a que se serve, fica evidente que o níquel é um metal imprescindível à sociedade industrial moderna e de uma importância estratégica para muitos países.

Estas conquistas definem o início de uma era industrial de uso e aplicação intensiva do níquel, tendo com base as ligas desse metal não só com ferro, mas com outros metais como cobre, magnésio, zinco, cromo, vanádio e molibdênio. Logo, o presente trabalho tem como objetivo analisar o limite de resistência a tração do alumínio puro e da liga Al-1,4%Ni em diferentes regiões do lingote, solidificados direccionalmente,

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ensaios e propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas compreendem a resposta dos materiais às influências mecânicas externas, manifestadas pela capacidade de desenvolverem deformações reversíveis e irreversíveis, e resistirem à fratura. As propriedades mecânicas de um material devem ser conhecidas para que possamos relacionar a deformação medida no material com a tensão associada a ela. As propriedades mecânicas são determinadas por ensaios rotineiros de amostras selecionadas como sendo representativas do produto. Estes ensaios mecânicos são normalmente destrutivos de modo que não

devem ser efetuados em produtos acabados, pois alteram suas condições de funcionalidade. Obtêm-se corpos-de-prova de amostras que tenham sido elaboradas do mesmo modo que o produto.

2.2 Ensaio de tração

O ensaio de tração (ver figura 1) é considerado o teste mecânico que apresenta a melhor relação entre informações obtidas e custo/complexidade de ensaio. Apesar deste teste possa ser realizado em condições bem distintas daquelas nas quais o material será requisitado, os parâmetros obtidos deste ensaio são o ponto de partida para a caracterização e especificação. Consiste na aplicação de carga de tração uniaxial crescente em um corpo de prova especifico até a ruptura. Trata-se de um ensaio amplamente utilizado na indústria de componentes mecânicos, devido às vantagens de fornecer dados quantitativos das características mecânicas dos materiais.

Figura 1- Máquina de ensaio universal.

2.1 Solidificação unidirecional vertical ascendente

Abaixo podemos observar um esquema do dispositivo de solidificação vertical ascendente (ver figura 2), em que o metal é fundido e, quando a temperatura do metal líquido atinge um determinado valor, inicia-se a solidificação através do acionamento da água de refrigeração na parte inferior do molde.

Um conjunto de termopares inseridos dentro do metal em diferentes posições a partir da base permite o registro da evolução térmica durante todo o processo, que será utilizado posteriormente para a determinação das variáveis térmicas da solidificação. Nesse tipo de dispositivo, a solidificação se processa em sentido contrário ao da ação da gravidade e, conseqüentemente, o próprio peso do lingote atua no sentido de favorecer o contato térmico com a base refrigerada

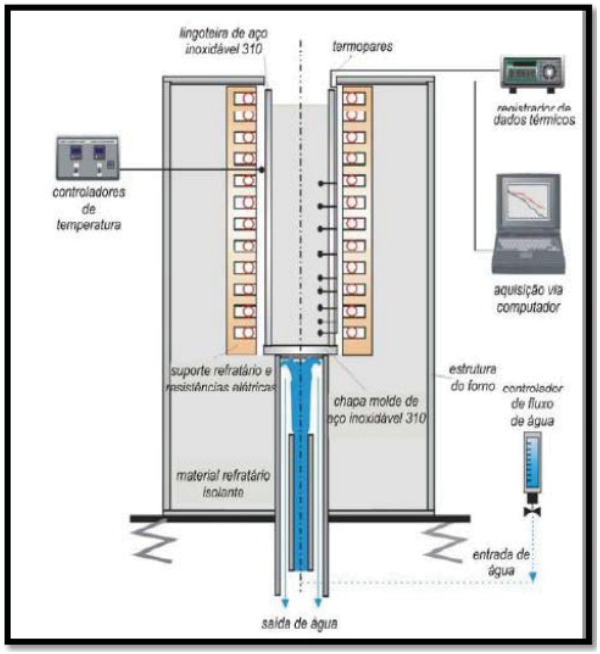


Figura 2 - Dispositivo de solidificação unidirecional vertical ascendente, Ribeiro (2007).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Preparação da liga

Foram retirados através do torno mecânico horizontal IMAR-650 400 rpm, cavacos de níquel metálico retirado de uma barra cilíndrica, os mesmo foram pesados e de acordo com os cálculos estequiométricos foram separadas porções de massas de níquel e alumínio para a confecção das ligas. O alumínio em um cadinho pintado com alumina material refratário, para evitar a contaminação da liga, foi lançado ao forno primeiramente até atingir uma temperatura superior a de fusão.

Devido às temperaturas de fusão dos componentes da liga serem muito diferentes, aproximadamente 660°C para o Al e aproximadamente 1453 °C para o Ni, a liga é obtida mediante o mecanismo de difusão do soluto na matriz liquida do solvente , Canté (2009), o que ocorreu da seguinte forma: Após a total fusão do alumínio o cadinho foi retirado do forno (ver figura 3) e o níquel na forma de cavacos foi adicionado ao metal líquido. A mistura foi agitada com uma vareta de aço revestida com alumina, com o objetivo de facilitar a incorporação do níquel na matriz do alumínio (ver figura 3).

Para garantir a total difusão do soluto na matriz do solvente, a mistura metálica é retornada ao forno e retirada para ser novamente agitada. Esse procedimento repetiu-se até a total dissolução dos cavacos de níquel.

Figura 3 - Forno elétrico Jung tecnologia para processos térmicos modelo 1001.

Este procedimento foi efetuado Laboratório de Engenharia química da Ufpa. Primeiramente, efetuaram-se o corte dos materiais para fundição, Al e Ni comercialmente puros. Em seguida, os mesmos foram pesados para a confecção das ligas em seu teor aqui estudado. Para a liga do sistema Al-Ni o superaquecimento foi de cerca 10 % acima da temperatura liquidus, Costa (2008). Ao ser alcançada a temperatura desejada, as resistências elétricas que compõe o forno foram desligadas e o fluxo de fluído refrigerante, neste caso água, foi liberado. Ao solidificar o material, obtiveram-se lingotes do alumínio puro e da liga com uma altura média de 150 mm.

3.2 Dispositivo de solidificação

O Dispositivo é composto por uma lingoteira introduzida em seu interior de aço inoxidável AISI 310 com diâmetro interno maior de 42 mm, diâmetro interno menor de 40 mm, altura de 150 mm e espessura de 8 mm, foi ligado até atingir uma temperatura de 725°C. Ao chegar a temperatura desejada o Al-Ni fundido foi vazado na lingoteira que precisa ser pintada com bastante alumina para facilitar o desmoldamento na prensa hidráulica.

Quando o metal líquido atingiu a temperatura desejada, iniciou-se a solidificação através do acionamento da água de refrigeração na parte inferior do molde dando origem aos lingotes. O forno de solidificação, vertical ascendente (ver figura 4) é constituído de resistências elétricas laterais com potências controladas, permite obter diferentes níveis de superaquecimento no metal líquido. Esse dispositivo deve apresentar um bom isolamento para evitar perdas de calor pelas laterais da lingoteira e impedir a possibilidade de nucleação de cristais nessas paredes e à frente da interface de crescimento.

Figura 4 - Dispositivo de solidificação vertical ascendente usado para a fabricação da liga.

3.3 Fabricação do corpo de prova e ensaio de tração

O lingote originou nove corpos de provas distribuídos ao longo do eixo longitudinal. A posição relativa de extração dos corpos-de-prova em relação à interface metal/molde se encontra ilustrada abaixo (ver figura 5b).

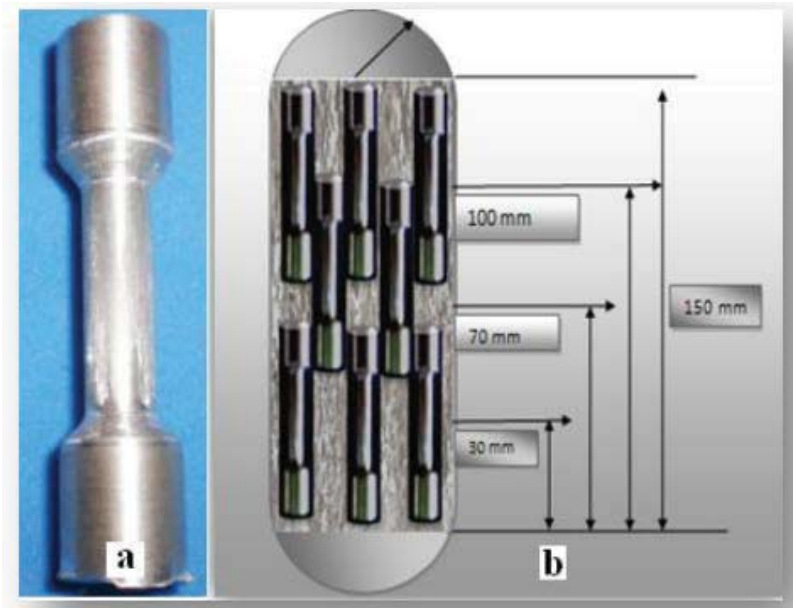


Figura 5 - a) Corpo-de-prova utilizado no ensaio de tração b) posição relativa de extração dos corpos-de-prova.

Após a usinagem dos corpos de prova em conformidade com a norma ASTM E8M-97, para isso foi usado um torno mecânico horizontal IMAR-650 400 rpm (ver figura 6) os ensaios foram realizados com corpos de prova à temperatura ambiente. O equipamento utilizado foi a máquina de ensaios EMIC modelo DL2000 carga de 500Kgf, com uma velocidade de ensaio em torno de 2 mm/s. No momento de um ensaio da liga Al-1,4% Ni, quando o CDP está prestes a se romper, pode-se perceber que a estricção

é bem visível na parte mediana do CDP, caracterizando a ductilidade desse material. Garcia et al (2000). (ver figura 7).

Figura 6 - Confecção de copo de prova de ensaio de tração.

Figura 7- (a) Máquina de tração Marca EMIC modelo DL2000 carga de 500Kgf, acoplada a um sistema de aquisição de dados; (b) momento da ruptura do corpo de prova.

4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS

O limite de resistência a tração para o alumínio puro não se altera permanecendo constante ao longo do lingote, (ver figura 8). Esse comportamento seda pela ausência de elementos de liga que provocam alteração nas propriedades mecânicas do alumínio quando solidificado unidirecionalmente. O comportamento do limite de resistência a tração da liga de alumínio e níquel para a composição de 1,4% Ni aumenta em relação às regiões mais próximas a base, já no alumínio puro não é possível observar este comportamento. Assim, quando se deseja uma liga com maior resistência a tração, é recomendada a propriedade característica da região mais próxima a interface metal/molde, ou seja, da região de extração de calor, Mateso et al (2006).

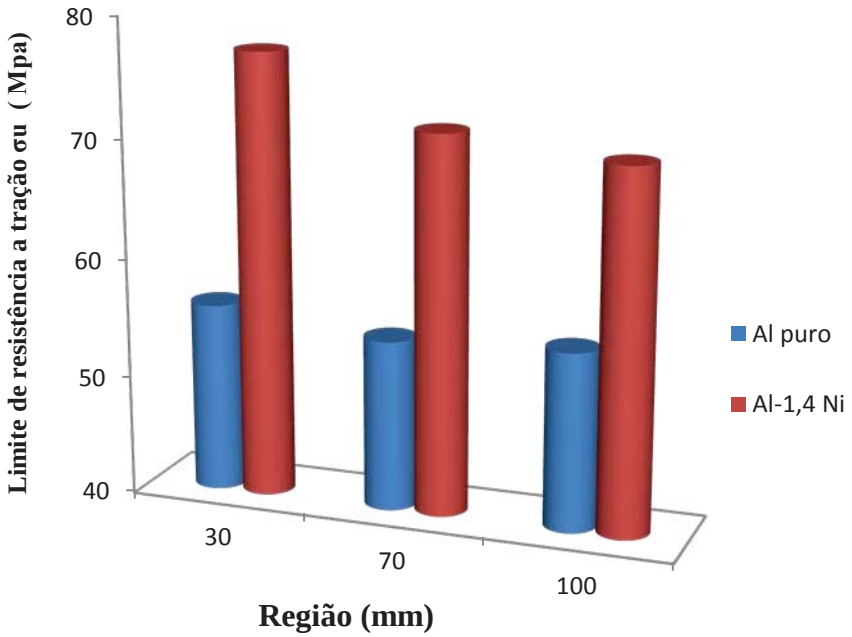


Figura 8- Variação das propriedades mecânicas da liga e do alumínio puro ao longo do lingote.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensaio mecânico de tração apresentou um resultado compatível com aqueles relatados na literatura, pois adição do níquel proporcionou ao alumínio maior resistência mecânica. Quando foi analisado o limite de resistência da liga em diferentes regiões do lingote concluiu-se que o mesmo aumenta em relação às regiões mais próximas da base, sendo que no alumínio puro tal fenômeno não ocorre.

REFERÊNCIAS

American Society for Testing and Materials.**ASTM E 8M-97**, "Standard test methods for tension testing of metallic materials [Metric]", Philadelphia, USA, 1997, Committee E-28, pp. 77-97.

CANTÉ, M. V, **Solidificação transitória, microestrutura e propriedades de ligas Al-Ni,** 2009. Tese (doutorado) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

COSTA, G. B, **Variáveis térmicas de solidificação, espaçamentos dendríticos secundáriose resistência à corrosão de ligas hipoeutéticas Al-Ni,** 2008. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal do Pará. Instituto de tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Belém, 2008.

GARCIA , A., SPIM,A.J., SANTOS, A.C., **"Ensaio dos materiais"**. Livros técnicos e científicos Editora, 2000.

MATESO,V.;BARCELLOS,V.K;FERREIRA,C.R.F; SANTOS,C.A; SPIM,J.A. **Correlação de condições de solidificação com propriedades mecânicas e metalúrgicas da liga de latão 60/40.**, Rio de Janeiro. São Paulo: ABM, 2006.

RIBEIRO, A. N. L. **Projeto, construção e aferição de um forno de solidificação unidirecional vertical ascendente**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

ESTUDO DA LIMPEZA CATÓDICA DO PROCESSO TIG NA POSIÇÃO SOBRE CABEÇA NO ALUMÍNIO AA5052

Lázaro Batista CANDIDO, Ronyclei Raimundo da SILVA e Celina Leal Mendes da SILVA'
Instituto Federal do Rio Grande do Norte – Campus Natal Central
E-mail: celina.leal@ifrn.edu.br

RESUMO

A limpeza catódica é um fenômeno que vem sendo estudado cada vez mais pelo crescimento exponencial na utilização do alumínio. A formação rápida da camada de oxido na superfície deste dificulta sua soldagem e a limpeza vem para facilitar a mesma. Vários estudos já foram feitos na posição plana, porém falta explorar nas demais posições. Por isso, este trabalho teve como objetivo estudar a influência da limpeza catódica na geometria do cordão na posição sobre cabeça, utilizando o processo TIG em CA, soldando no Alumínio AA5052. Avaliou-se também a área de limpeza e a perda de massa do eletrodo com o intuito de determinar a melhor combinação de tempos para um ciclo de corrente. Os ensaios foram realizados uma bancada experimental automatizada, com ajuste de três tempos diferentes para polaridade positiva com três repetições. Os parâmetros de soldagem foram monitorados pelo sistema de aquisição de dados. Os parâmetros geométricos indicaram que há da influência da limpeza catódica na geometria do cordão de solda.

Palavras-chave: Limpeza Catódica; TIG; Posição sobre cabeça

1. INTRODUÇÃO

TIG é o processo de soldagem ao arco elétrico com proteção gasosa que utiliza eletrodo de tungstênio, um gás inerte, para proteger a poça de fusão. O nome TIG é uma abreviação de Tungsten Inert Gás (gás inerte tungstênio), em que tungstênio é o material de que é feito o eletrodo e gás inerte refere-se ao gás que não reage com outros materiais (SENAI). Ele foi desenvolvido antes do processo MIG, bem como, foi o primeiro processo de soldagem com proteção de gás inerte adequado para soldar o alumínio. Durante muito tempo, era usado para soldar uma vasta variedade de produtos e estruturas nas mais diversas espessuras, mas, com a subseqüente viabilidade do processo MIG com suas altas velocidades, arco com mais penetração e outras vantagens, o TIG passou a ser aplicado principalmente em espessuras mais finas, em juntas complexas e em soldas autógenas.(ALCAN)

Atualmente a soldagem do alumínio vem sendo feita com o processo TIG em corrente continua negativa e alternada não balanceada, no primeiro caso não a uma limpeza do oxido de alumínio durante a soldagem então deve se faze uma limpeza prévia para que se evite a ocorrência de alumina na poça da fusão, isso causa um desperdício de recursos. Enquanto na utilização de corrente alternada essa limpeza pode ser dispensada, já que a no tempo de polaridade positiva do arco (t^+) há a dissociação da camada de oxido (Limpeza Catódica) e com o avanço das fontes eletrônicas, já se pode controlar o tempo e a intensidade de corrente de cada polaridade num ciclo de corrente, com isso, uma linha de pesquisa que surgiu foi a influência desse tempo de limpeza catódica nas demais variáveis do processo de soldagem.

Assim esse trabalho objetivou verificar o que ocorre na geometria do cordão de solda quando se muda o tempo de polaridade positiva e com a medição do desgaste do eletrodo para cada realização, estimar um melhor t^+ para a soldagem com TIG-CA.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A maior incógnita encontrada que se encontra nessa linha de pesquisa é o comportamento físico do arco no que se refere a limpeza catódica, sendo o Efeito Termiônico o principal objeto de estudo tendo em vista que a corrente no pólo negativo tem forte influência sobre a geometria, mas pouca influência sobre a estabilidade. Este parâmetro pode ser ajustado livremente para controlar a geometria e produção (SCOTTI)

A maioria das pesquisas nessa área são com utilização de tempos de corrente positivas menores que 50 %, porém há trabalhos com porcentagem de até 90% (FUERSCHBACH), trabalhos como o de Yamuch (YAMUCH) também servem de embasamento para conclusão sobre corrente positivas acima de 50%.

CIRINO usou corrente alternada a 100 A na liga de alumínio 1200 com as seguintes dimensões de largura espessura e comprimento: 100 x 3 x 240 mm. E conseguiu realizar um cordão de solda com características estéticas satisfatória com uma combinação de 6,5 % de polaridade positiva. Ao analisar a influência do t^+ sobre a Limpeza Catódica ele chega as seguintes conclusões:

- A penetração não é uma variável que não linear com relação ao t^+ na faixa de 6,5 a 50 por cento. O comportamento se caracteriza por haver uma diminuição até próximo de 20 % e daí sim começa um aumento como é previsto.

- Do ponto de vista de uma situação de menor desgaste do eletrodo, a situação mais indicada para se ter maior fusão é com apenas 6,5% de %EP, que para o citado alumínio se revelou suficiente em termos de limpeza catódica. (CIRINO)

Porém, as pesquisas nessa linha são poucas e ainda na posição de soldagem plana, assim um avanço considerável nas pesquisas é ver se mesmo sem a adição de metal quanto à mudança de posição modifica os outros parâmetros.

O efeito de %EP sobre a limpeza catódica e a largura do cordão de solda decorre provavelmente do maior espalhamento do arco sobre a região de soldagem. Quanto maior o tempo de polaridade positiva, maior a movimentação da mancha catódica na busca por novos pontos onde a emissão de elétrons seja facilitada pela presença de óxido. (CIRINO)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para verificar o efeito do tempo de limpeza catódica na geometria do cordão de solda com o intuito de avaliar a influencia da limpeza catódica, uma série de experimentos foi proposta (Tabela1). Nesta tabela verifica-se a variação do tempo positivo ajustado equivalente a 50%, 30%, 6,5% do tempo de ciclo. Foi necessário a prévia fixação de três combinação de tempos para o trabalho, daí a escolha do 50% se torna essencial por se tratar do tempo padrão de balanço entre as propriedades das correntes continuas positiva e negativa, a escolha do tempo de 6,5% se deve a verificação da porcentagem mínima sugerido na Ref. (CIRINO), assim a escolha do segundo nível vem como 30% para se ter uma homogeniedade nos valores.

Tabela 1 – Fatores e níveis para o planejamento experimental para avaliar a influência do tempo positivo na geometria do cordão de solda

Variáveis	Nível 1	Nível 2	Nível 3
CondSol (t+ (ms))	20	12	2,6
Posição de soldagem	SC		

A Tabela 2 explicita a marcação dos corpos de provas e uma diferenciação, tendo como variável única o tempo de t^+ e conde cada condição de soldagem foi repetida três vezes.

Tabela 2 – Planejamento experimental

t^+ (ms)	20			12			2,6		
Repetição	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Nomeação	C01	C02	C03	C11	C12	C13	C21	C22	C23

Soldagens de simples deposição foram realizadas na posição Sobre Cabeça (SC), sendo o cordão de solda posicionado no centro da chapa, com o comprimento do cordão de 140 mm, utilizando corpos de prova de barra de alumínio AA5052 200 x 19 x 3,2 mm . Tabela 3 apresenta os valores da composição química deste material.

Tabela 3 – Composição química da liga AA5052 (HANDBOOK)

Elemento	Al	Mg	Cr	Outros
Porcentagem	97,2	2,5%	0,25%	0,05%

A Figura 1 mostra o esquema do corpo de prova mostrando onde foram feitas as medições das larguras e das áreas de limpeza.

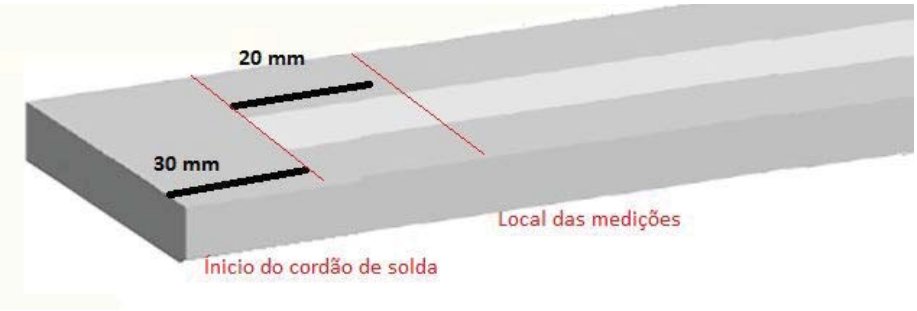


Figura 1 – Esquema do corpo de prova

A escolha de se fazer a medição num ponto próximo ao inicio se deve a má característica de continuidade que tiveram os corpos de provas como pode ser visto na figura 3.

A bancada experimental foi usado um dispositivo para fixação das chapas na posição sobre cabeça (FERNANDES). A figura 1 mostra um esquema da bancada experimental como um todo. Os experimentos foram realizados em um banco de ensaio para soldagem automática em uma fonte de soldagem eletrônica multiprocesso ajustada no processo TIG, um Tartílope programado com a velocidade de 50 cm/min com uma trajetória em linha reta, enquanto para a aquisição de dados foi feita através de um Sistema de Aquisição Portátil (SAP), com o monitoramento de tensão e corrente, medias e instantâneas. Os parâmetros de soldagem fixos foram:

- Eletrodo de tungstênio puro com diâmetro de 2,4 e afiação em 45º
- Distancia bico contato peça de 3,2 mm com uma inclinação perpendicular entre o corpo do eletrodo e a peça.
- Argônio como gás de proteção vazão de 18 l/min para um bocal de 12,5 mm de diâmetro com corpo homogêneo.
- A intensidade da corrente de soldagem foi ajustada em 100 A (VILARINHO), tanto para a parte positiva do arco quanto a negativa, justou-se também a tensão e corrente de curto-circuito em 5 V e 20 A.

A aquisição de dados foi feitas antes, durante e depois da realização dos cordões de solda, antes foi a mensurado os pesos dos eletrodos a serem utilizados na soldagem utilizando uma balança durante foram captados os valores de tensões e correntes: instantâneas, médias e eficazes, por meio do SAP-V 4.19. Por fim foram coletados os novos pesos das chapas e eletrodos, assim como as medidas de: área limpeza catódica; largura e penetração em duas regiões do cordão de solda como mostra a figura 2.

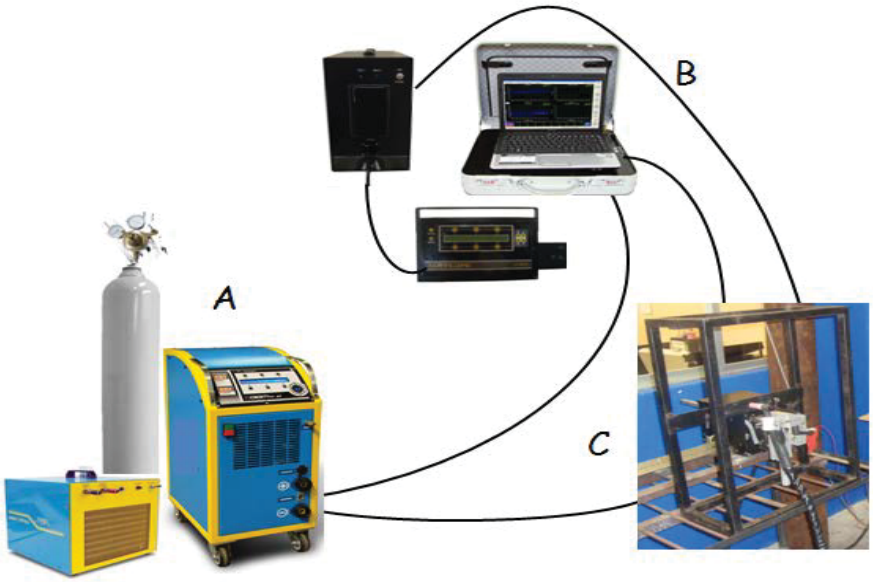


Figura 2 - Bancada Experimental (A) conjunto fonte de soldagem, unidade refrigeradora e gás de proteção, (B) conjunto de monitoramento e controle, Tartílope- SAP, (C) conjunto de realização, braço mecânico do Tartílope, dispositivo de fixação da chapa e tocha

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os Resultados podem ser separados quando visto a obtenção dos dados de analises, nesse item vamos trabalhar com a divisão de analise do desgaste do eletrodo, Sinais Elétricos do arco e geometria do cordão de solda.

4.1 Desgaste do Eletrodo

A metodologia especifica para a analise do desgaste do eletrodo é bastante minuciosa no que se refere a fixação das variáveis envolvidas na soldagem, como o desgaste não era o foco desse trabalho os resultados aqui apresentados deve ser observado tendo a atenção para alguns fatores não fixados aqui como o tamanho do eletrodo utilizado, tendo em vista que um eletrodo maior terá menor desgaste. Dessa forma os valores apresentados na Tabela 4 não podem ser analisados uniformemente.

Tabela 4 – Valores de peso do eletrodo

Amostra	C01	C02	C03	C11	C12	C13	C21	C22	C23
Peso anterior	4,6425	9,6840	10,4554	3,6261	3,5507	10,0491	3,4517	4,0157	9,5065
Peso posterior	4,6403	9,6810	10,4549	3,6238	3,5481	10,0481	3,4507	4,0150	9,5061
Redução	0,0022	0,0030	0,0005	0,0027	0,0026	0,0010	0,0010	0,0007	0,0004

É evidente que há um maior desgaste quando há o aumento do t+, podemos evidência isso quando comparamos os resultados dos cordões C03, C13 e C23 ou até mesmo nas demais amostras se essa analisada ignorando o tamanho do eletrodo como fator de influência.

4.2 Limpeza Catódica

Nos resultados encontrados para a limpeza catódica um ponto a ser ressaltar foi a insuficiente da porcentagem de 6,5 para realização do cordão de solda, essa percentagem foi a mínima indicada por Cirino (2009), mas ao comparar as metodologias nada pode ser concluído como causa da insuficiência pela diferença nos parâmetros utilizados a Figura 3 mostra alguns dos cordões de solda realizados

Figura 3 – cordões de solda dos t^+ (a)50%, (b)30% e (c)6,5%

Todas as repetições com o t^+ de 6,5% se mostraram insatisfatória a uma inspeção visual, os valores das áreas de limpeza são mostrados na Tabela 5, ressaltando que não houve área de limpeza para os corpos C21, C22 e C23.

Tabela 5 – Valores dos aspectos geométricos de Largura e Limpeza

Amostra	C01	C02	C03	C11	C12	C13	C21	C22	C23
Largura (mm)	5,7019	6,1983	5,8270	5,8508	5,7767	6,2970	6,2970	6,5439	7,9014
Limpeza (mm)	13,4267	12,6003	13,2226	11,4427	10,7391	10,7021	Não houve		

4.3 Sinais Elétricos do Arco

Os sinais elétricos foram monitorados apenas com o intuito de verificar a repetibilidade do arco utilizado, embora alguns trabalhos o venham mostrando que a uma mudança significativa na tensão quando modificado o tempo de polaridade positiva

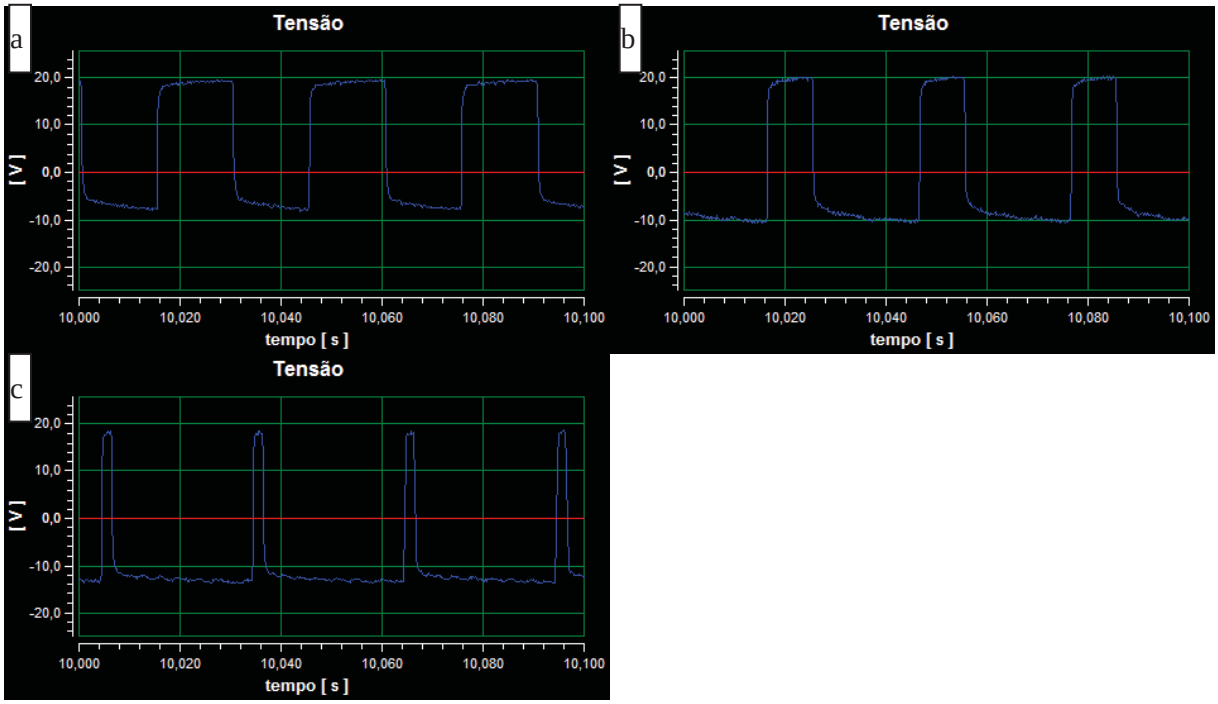


Figura 4 – comparativo das leituras de tensão instantânea com utilização dos tem t^+ (a)50%, (b)30% e (c)6,5%

De maneira bem superficial podemos ver na figura 4 que há uma maior continuidade da tensão na parte negativa do arco.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral podemos concluir quem a limpeza catódica quando subimetida a posição sobre cabeça não há uma mudança de comportamento baseados nos trabalhos estudados na posição horizontal e aqui referenciados. Porém para uma comparação na quantidade da influência do t^+ em cada posição teria de haver uma semelhança em todos os parâmetros envolvidos na soldagem.

Outra conclusão também obtida com os resultados encontrados nesse trabalho é que a o tempo necessário para uma limpeza catódica não estar ligado unicamente a uma constante ou a área de oxido envolvida, sendo necessário uma metodologia mais específica para a quantidade de calor e para teses de como se dar realmente a dissipação da camada de oxido.

Assim fica proposto para trabalhos futuros a soldagem com a repetição dos parâmetros utilizados aqui nas posições horizontal e plana e a realização de soldas com esses mesmos parâmetros com utilização de corpos de prova com diferentes tamanho.

REFERÊNCIAS

ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A, **Manual de Soldagem**, São Paulo, SP, 133p, 1993.

AMERICAN SOCIIETY FOR METALS, Metals**| Handbook: properties and selection of metals**, 8º edition, Ohio, United States of America, 1961, 1300p.

CIRINO, L. M., DUTRA, J. C. **A Influência do Tempo de Atuação da Polaridade Positiva na Soldagem TIG CA do Alumínio**. Soldagem e Inspeção. São Paulo, Vol. 14, No. 2, p.131-139, Abr/Jun 2009.

FERNANDES, R. F., BATISTA, L. B, MENDES DA SILVA, C. L. **Desenvolvimento de Dispositivo para Soldagem nas Posições Horizontal e Sobrecabeça**. Congresso de Iniciação Científica do IFRN, 7º, 2010, Mossoró - RN, 2010. p.380-384.

FUERSCHBACH, P.W. **Cathodic Cleaning and Heat Input in Variable Polarity Plasma Arc Welding of Aluminum**. Welding Journal, v. 77, n. 07, p. 76s-85s, fev. 1998.

SCOTTI, A;DUTRA, J. C.;SANCHES, H. A.. **O Efeito dos Parâmetros de Ajuste na Estabilidade e Geometria de Cordão na Soldagem TIG com Onda Retangular**

SENAI. DR. PE. **Tecnologia de solda** – Processo TIG e eletrodo revestido. Recife, SENAI.PE/DITEC/DET, 2001. 49 p. il.

VILARINHO, L. O.. **O Arco TIG a 100 A e Argônio Puro É um Arco Especial. Soldagem e Inspeção.** São Paulo, Vol. 14, No. 4, p.353-357, Out/Dez 2009.

YARMUCH, M.A.R.; PATCHETT, B.M. **Variable AC Polarity GTAW Fusion Behaviour in 5083 Aluminum**. Welding Journal, v. 86, n. 02, p. 196s-200s, jul. 2007.

ESTUDO DA TAXA DE CORROSÃO NA UNIÃO DOS VERGALHÕES DE CONSTRUÇÃO SOLDADOS COM O PROCESSO ELETRODO REVESTIDO (ER)

Ronyclei Raimundo da Silva[1] e Lazaro Batista Candido[2] e Celina leal Mendes da Silva[3]
Instituto Federal do Rio Grande do Norte- Campus Natal-central
Ronyclei.r@gmail.com – Celoca23@yahoo.com.br

RESUMO

Para a indústria da construção civil, uma das principais preocupações é o mecanismo de degradação das armaduras metálicas no concreto armado. Nesta estrutura, o concreto, proporciona ao vergalhão proteção química (pH > 12), devido à sua natural alcalinidade, e física, proveniente do recobrimento da armadura "isolamento do meio corrosivo". Talvez, por esse motivo, acreditava-se que as obras construídas em concreto seriam eternas. Porém, mesmo estando isolada do meio pelo substrato, a armadura ferrosa está sujeita ao ataque de agentes contaminantes, induzindo problemas de corrosão. Natal, por ser uma cidade litorânea, convive com problemas de corrosão associados à alta concentração de íons cloretos decorrente do ambiente marinho. Assim, este artigo objetiva comparar a taxa de corrosão dos corpos de prova, obtida através da rugosidade do Aço CA50, usado na construção civil, soldado. Analisando a zona fundida e a zona termicamente afetada, expostas ao ambiente salino. Como procedimento experimental, Utiliza-se o processo de soldagem Eletrodo Revestido, na soldagem corpos de prova, com posterior ensaio de nevoa Salina acelerado das regiões soldadas. Como resultado, levanta-se a correlação entre a rugosidade e o processo de soldagem aplicado.

Palavras-chave: Concreto; corrosão; vergalhões; Processo de soldagem.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um material composto, constituído por cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita), e ar. Pode também conter adições (cinza volante, sílica ativa, etc.) e aditivos químicos com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas (SANTOS,P.S.S.). Construções de concreto possuem baixa resistência á tração, o que faz com que elementos de concreto que são submetidos a apreciáveis cargas de tensão sejam usualmente reforçados com barras ou malhas de aço. Nestas construções compostas, a carga de tração é assumida pelo aço, enquanto o concreto suporta as cargas de compressão. Além de o concreto apresentar características mecânicas muito amplas tem demonstrado possuir uma durabilidade adequada para a maioria dos usos a que se destina (SIMÃO, E.C., KIM, J.Y). Esta durabilidade das estruturas de concreto armado é o resultado natural da dupla natureza, que o concreto exerce sobre o aço: por uma parte, o cobrimento de concreto é uma barreira física, e por outra, a elevada alcalinidade do concreto, desenvolve sobre o aço uma camada passiva que o mantém inalterado por um tempo indefinido.

Como o concreto resulta em um solido compacto poroso, é esta rede de poros que é uma trama de canais, nem sempre comunicados entre si, mas que permitem que o concreto apresente certa permeabilidade aos líquidos e aos gases. Assim, ainda que o cobrimento das armaduras seja uma barreira física, esta é permeável em certa medida e permite o acesso de elementos agressivos até o aço (SIMÃO, E.C., KIM, J.Y).

Devido à necessidade do uso de armaduras de aço em concreto, que resulta na melhoria das suas propriedades mecânicas, surge à preocupação com a corrosão. Principalmente nas regiões soldadas onde se encontra a zona termicamente afetada que normalmente reduz sua resistência. Por isso este artigo tem o objetivo de correlacionar a taxa de corrosão com o processo de soldagem (ER), apontando nestas condições de soldagem à corrosão sofrida na zona fundida e termicamente afetada, nos pontos soldados indicando, o seu índice de corrosão através da rugosidade apresentada.

1. METODOLOGIA

Para realização deste trabalho, foi realizada uma pesquisa em campo, em construtoras da cidade do Natal, para se obter dados e coletar materiais para os experimentos , visualizou-se nessa pesquisa a utilização do processo de soldagem (eletrodo revestido) em todas as empresas, devido ao seu baixo custo. Levando em conta este fator, optamos por realizar as mesmas operações realizadas em campo, reproduzindo-as em laboratório. Por isso foi definido o corpo de prova com duas barras de aço de construção com diâmetro 10 mm, soldado com o processo Eletro Revestido (ER), na posição plana em junta de aresta (Figura 1) com eletrodos do tipo ABNT 6013. Os parâmetros de soldagem foram fixos corrente de soldagem 100A e calculado a velocidade de soldagem através da medição do tempo cronometrada resultando de 6,5 cm/min.

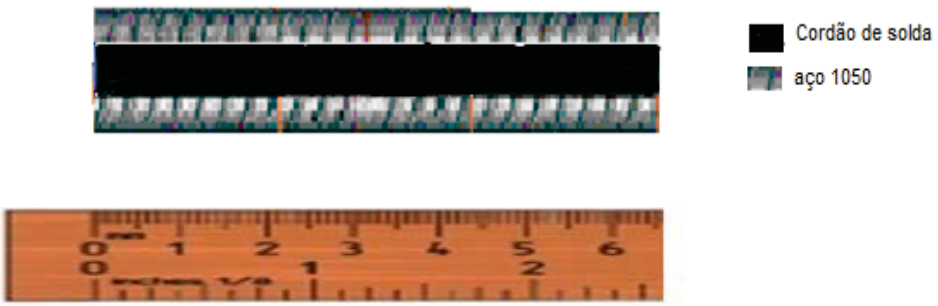


Figura 1. Esquematização do corpo de prova

A Tabela 1 apresenta os fatores e níveis para o planejamento experimental. Foram realizadas 2 combinações de parâmetros com 3 repetições cada, totalizando em 6 ensaios. Foram confeccionados três corpos de prova (CP), possuindo as mesmas medidas em comprimento (65 mm) e as mesmas no cordão de solda (10 mm) de largura. Como é necessário avaliar inicialmente a rugosidade natural do material, os três primeiros corpos de prova foram medidos a rugosidade (obtendo a media dos mesmos) sem soldagem, que denominamos de ensaios sem processo de soldagem (SP). Já os demais corpos prova foram destinados aos ensaios de rugosidade com processo de soldagem antes (AP) e depois (AD) do ensaio de corrosão. Entretanto para o ensaio metalográfico foram analisados apenas os, com processo (AP), Os materiais usados foram: O aço SAE 1050 tanto em campo, como em laboratório para os vergalhões.

Tabela 1- Fatores e níveis para o planejamento experimental

Variável	Nivel1	Nivel 2	Nivel3
TECSOL	ER		
Rugosidade	1	2	3

Na Figura 2 ilustram esquematicamente os corpos de prova com solda. Após os mesmos soldados sofreram um corte central vertical usando uma máquina de corte metalográfico (Figura 2-a). A sessão 1 do CP (Figura 2-b) foi usada para avaliar rugosidade inicial na região do cordão de solda e a sessão 2 sendo descartada, conforme a Figura 2-c. Em seguida foram lixados, usando a seguinte granulometria 80,100,220,320,400,600 e 1200 mesh, e polidos usando um disco apropriado para aço, e como abrasivo alumina de 1µm. O rugosímetro digital portátil foi (após os polimentos) utilizado para as medições em cinco pontos no cordão de solda, eliminando o dado que apresentou maior discrepância, obtendo assim uma leitura confiável.

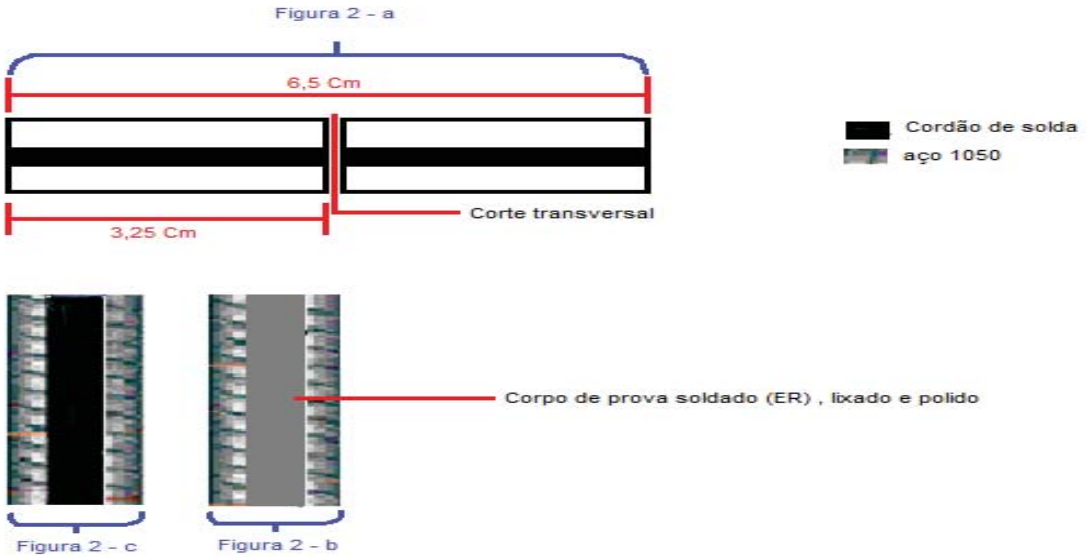


Figura 2. Esquematização de corte do corpo de prova

Com a obtenção dos dados referentes á rugosidade inicial, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de corrosão, simulando um ambiente com a presença da névoa salina, para o desenvolvimento deste ensaio, que é realizado em uma câmara hermeticamente fechada. Foram usadas

quatro garrafas pet, cada uma contendo um litro de água com uma concentração específica de NaCl, sendo 5g para cada 100 ml de água, cada garrafa foi preenchida com 1000 ml ,dando um total de 50g de NaCl por garrafa. Os corpos de prova foram posicionados em um ângulo de 45°, sem imersão, a temperatura ambiente, conforme a figura abaixo.

Neste ensaio a água com a presença do NaCl, evapora entrando em contato com a peça e colidindo com a parede do recipiente, condensando e retornando ao fundo da garrafa formando um ciclo. Sendo assim o (CP) está constantemente submetido a uma atmosfera corrosiva, estes, permaneceram por cerca de trezentas horas neste ambiente Figura 3, ao fim do período de corrosão simulada, os corpos de prova foram retirados, sendo posteriormente lavados com água para realização do teste de rugosidade final, a fim de se obter uma comparação entre os corpos de prova pré-corrosão e pós-corrosão.

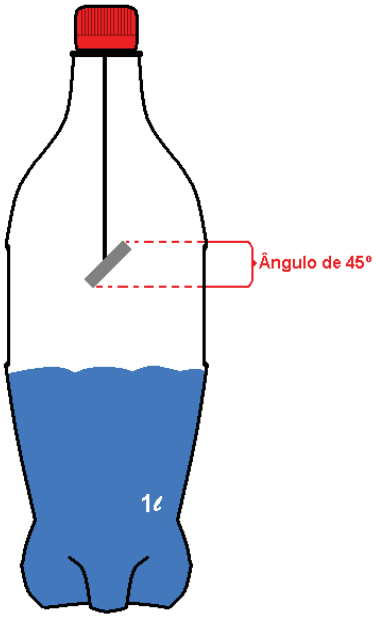


Figura 3. Esquematização do corpo de prova no ensaio de corrosão

Para os ensaios metalográficos, foram utilizados dois corpos de prova, um para cada processo de soldagem, estes sofreram um corte transversal no centro, sendo retirado apenas 15 mm do material para posterior embutimento conforme a Figura 4. Estes, foram lixados com a seguinte granulometria 80,100,220,320,400,600 e 1200 mesh e polidas com um disco de polimento apropriado para aço, e como abrasivo foi utilizada a alumina de 1µm, realizando o ataque com ácido nital de -0.5%, para visualização da zona termicamente afetada (ZTA) e zona fundida (ZF).

Figura 4 – Região do corpo de prova seccionada para posterior embutimento.

3. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Na Tabela 2, apresentam-se as medições da rugosidade dos corpos de prova (SP) e nos (AP) e (AD), no qual fica evidente a proximidade dos resultados demonstrando que a rugosidade inicial, independe de haver aplicação do processo de soldagem, já nos corpos de prova (AD), visualiza-se um aumento considerável em sua rugosidade, confirmado que o CP foi corroído.

Tabela 2 – Rugosidades inicial e final

Processo de soldagem	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Ra (μm)$_{med}$
Sem processo (SP) Inicial	0.12	0.13	0.11	0.14	0.12
Eletrodo revestido (AP) inicial	0.14	0.14	0.13	0.16	0.14
Eletrodo revestido (AD) final	1.38	1.26	1.35	1.64	1.40

Nota: Ra (μm)med – referente a rugosidade media

As Figuras 5 e 6 ilustram respectivamente, os corpos de prova soldados pelo processo ER, pré-corrosão (polido, percebe-se o reflexo do mesmo) e pós-corrosão. No qual se visualiza um nível de corrosão superficial avançada na Figura 6.

Figura 5 – Corpo de prova (AP)

Figura 6 – corpo de prova corroído (AD)

Os corpos de prova soldados pelos processos ER, obtiveram variações, expressivas em seus respectivos ensaios de rugosidade, se comprados pré-corrosão e pós-corrosão, uma das causas é devido a influência direta do aporte de calor, incidido sobre o material, pois neste processo a geração de calor e

menos concentrada, o que resulta diretamente no aumento de sua respectiva (ZTA), causando em uma maior taxa de corrosão.

Em análise macrográfica, pode-se visualizar que a ZTA no corpo de prova soldado pelo processo ER, encontra-se dispersada ao longo do (CP), o que é característico deste processo de soldagem, e acredita-se ser o fator responsável por este, obter uma maior taxa de corrosão se comparado a outros processos de soldagem.

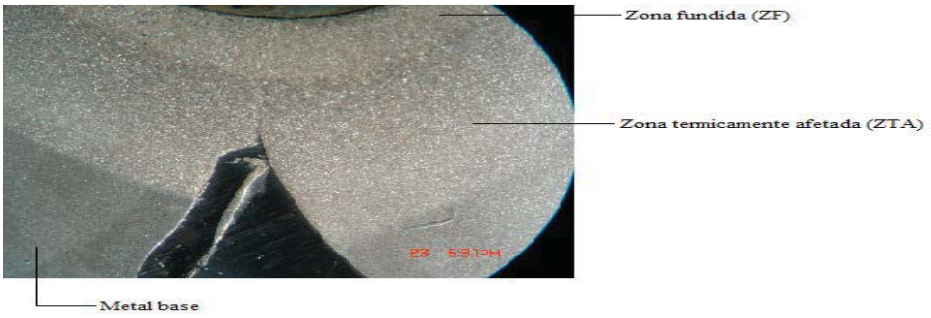


Figura 7 – analise macrográfica do corpo de prova, soldado com o processo (ER)

Os valores da Figura 8 mostram através de análise de variância (ANOVA), a influencia do processo de soldagem sobre a rugosidade, onde o nível de significância teve valor abaixo de 5% (α = 0,0) permitindo-se afirmar que para as condições utilizadas no trabalho a Rugosidade, sofre um aumento considerável, quando medida nos diferentes processos (SP,AP,AD) aplicados ao corpo de prova (Figura 8).

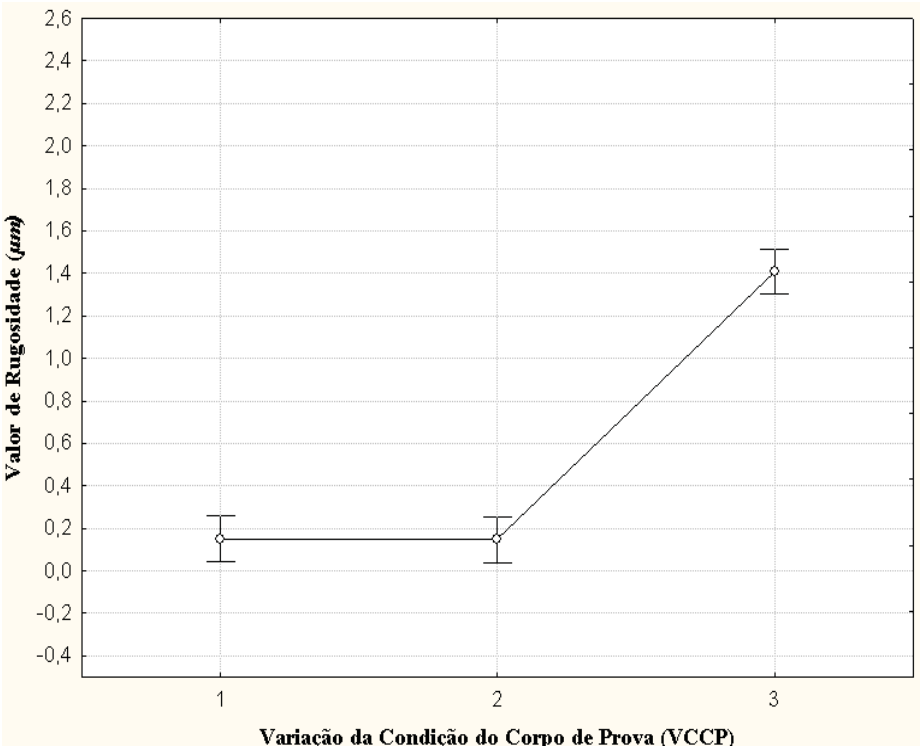


***Figura* 8 - Analise de variância, comparando os processos com a rugosidade.**

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho verificou-se a influência direta que o processo de soldagem, incide sobre a taxa de corrosão nos metais, resultado das transformações térmicas que ocorrem durante a soldagem.

Pode verificar-se explicitamente o aumento da rugosidade nos corpos de prova, sem processo de soldagem (SP) e os que foram soldados (AD), resultando em uma taxa de corrosão de 87% superior para os corpos de prova soldados, devido a ZTA que para o processo ER é dispersa, o que causa uma diminuição da resistência mecânica, gerando maior taxa de corrosão se comparado ao outros processos.

Referências bibliográficas

SANTOS, P.S.S. Fundamentos do Concreto Armado. Apostila de aula na disciplina 1288 – Estruturas de Concreto I, do curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia, da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Bauru/SP. p. 1-15, ago 2006.

SIMÃO, E.C., KIM, J.Y. Soldagem das barras de reforço de estruturas de concreto. Capítulo 13.4, p. 1-9.

http://www.esab.com/ reinforcing steels for concrete structures, Revue de La Soudure 3. p. 96-104, 1985.

ESTUDO DA USINAGEM PARA A FABRICAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE FADIGA

Anderson Douglas de F. Santos[1], Antônio Rodolfo da S. Moura[1], Cauê Coelho Alves[1] e Luiz Felipe N. de Oliveira[1]
Instituto Federal do Rio Grande do Norte[1] - Campus Mossoró
anderson_douglas3@hotmail.com – rodolfodvil@hotmail.com – caue20_@hotmail.com –
luiz_felipe777@hotmail.com

RESUMO

Tendo como base o conhecimento com estudos e práticas adquiridos através do orientador, os integrantes do Projeto de Construção de Máquinas para Ensaios Mecânicos do Programa de Formação de Recursos Humanos (PFRH) no IFRN – Campus Mossoró começaram a desenvolver a fabricação de uma máquina de fadiga. O objetivo desta é realizar a nucleação de pré trincas de fadiga em corpos de prova do tipo SE(B) para a realização de ensaios de tenacidade à fratura. Com a fabricação desse equipamento torna-se possível a realização de vários tipos de ensaios mecânicos, tais como o Kic, CTOD e Jic. Após a obtenção do material os integrantes do projeto deram inicio ao desenvolvimento dos componentes do aparelho, de forma que foram utilizados diversos tipos de processos de usinagem. Metade do grupo ficou em uma máquina chamada torno onde foram efetuados os processos de torneamento, faceamento e trepanação e a outra parte se concentrou em uma máquina denominada plaina, efetivando assim o processo de aplainamento.

Palavras-chave: fadiga, usinagem, torneamento, aplainamento.

1. INTRODUÇÃO

O intuito desse projeto é a realização da construção de um equipamento que servirá para auxiliar instituição e alunos. Com o apoio do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), Campus Mossoró em conjunto com a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), que forneceu alguns materiais para a usinagem, foi possível desenvolver a máquina em questão.

Um dos desafios encontrados nesse projeto foi dar o acabamento e dimensionamento das peças envolvidas no trabalho. Através dos processos de usinagem efetuados no torno mecânico e na plaina foi possível a execução deste aparelho. A organização foi dada desde o inicio do projeto por parte dos orientadores com a divisão de grupos para cada máquina para que tivesse melhor aproveitamento de todo o conteúdo a ser passado.

Foi de suma importância estar por dentro de todos os processos de usinagem, tais como torneamento, faceamento e aplainamento para dar melhor acabamento e dimensões exatas de acordo com o propósito e a furação onde utilizou-se o método de trepanação.

Com a junção de mentes e trocas de conhecimento entre aluno-aluno e aluno-orientador facilitou a pratica e a aprendizagem do grupo.

2. PROCESSO DE USINAGEM DA MÁQUINA DE FADIGA

O primeiro passo para a construção da máquina foi desenvolve-la e analisá-la em um software de desenho (AUTOCAD), feito isso, foi realizado a aquisição do material a ser utilizado para progredir com o desenvolvimento do equipamento. Tendo o material em mãos deu-se inicio a confecção, de forma que foram usados inúmeros processos de usinagem. Os processos foram executados nas seguintes máquinas: torno e plaina (ver figura 1e 2).

Figura 1- Exemplo de Torno Mecânico

Figura 2 – Exemplo de plaina

No torno mecânico sucedeu-se os processos de torneamento, faceamento e furação (onde usou-se a operação de trepanação). O torneamento e o faceamento são os processos que se baseiam no movimento da peça em torno de seu próprio eixo e como os demais trabalhos realizados no torno, acontecem através da retirada continua do cavaco, fazendo assim o dimensionamento da peça e dando suas proporções exatas. O cavaco é cortado por ferramentas que devem ser de uma dureza superior ao do material submetido à usinagem e a força necessária para retirar o cavaco é feita sobre a peça, a passo que a ferramenta (que estará firmemente presa ao porta-ferramenta) contrabalanceará a reação dessa força. Com esses dois processos foi possível realizar o dimensionamento e acabamento exigidos pelos parâmetros impostos do projeto (ver figura 3). O torneamento foi utilizado para dar forma e o faceamento para tirar imperfeições e dar um melhor aperfeiçoamento à peça. Já o processo de furação é utilizado para a obtenção de um furo cilíndrico na peça, com a ajuda de uma ferramenta multicortante. A peça ou ferramenta gira e simultaneamente a ferramenta ou a peça se desloca em um trajetória retilínea. Tal processo apresenta varias subdivisões; furação em cheio, escareamento, furação escalonada, furação de centros e trepanação. Foi usado a trepanação, pois este é um processo em que há o aproveitamento do núcleo (miolo) da peça a ser furada, onde apenas parte do material é reduzido a cavaco.

Figura 3 – Antes e depois do processo de usinagem

Na plaina foi executado o processo de aplainamento do material, procedimento cuja finalidade é nivelar e tirar irregularidades das superfícies, e além disso, é usada para que as dimensões das extremidades da peça fiquem de acordo com as medidas do projeto. Este também é gerado por um movimento retilíneo da peça ou da ferramenta. Como a ferramenta exerce uma forte pressão sobre a peça, esta deve estar bem presa à mesa da máquina.

3. METODOLOGIA

Inicialmente foi feito uma apresentação aos integrantes do projeto sobre a máquina a ser construída. Em seguida foi feito desenho, detalhamento, pesquisa de mercado e orçamento dos materiais necessários para a construção, de forma que tais atividades foram divididas entre os componentes, possibilitando assim, uma troca de conhecimentos entre os alunos de diferentes séries.

Na parte prática do projeto (usinagem) ocorreu outra divisão, metade do 4ª ano (alunos com maior nível prático) juntou-se com outra parte do 2ª ano, juntamente com os orientadores que auxiliavam e demonstravam os processos de usinagem a serem executados. Esta metodologia possibilitou aos alunos uma maior absorção de conhecimentos, pois os que cursam um ano inferior já estão tendo a possibilidade de ver assuntos de caráter superior ao seu período.

4. RESULTADOS

O equipamento que está sendo construído vem sendo feito em sua totalidade no Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN) – Campus Mossoró. Grande parte da máquina está utilizando chapas de aço que foram usinadas pelos integrantes do projeto. Das peças que precisam ser feitas três já estão prontas. O nível de aprofundamento de cada aluno no processo de usinagem na qual foram submetidos foi diferente, parte ficou no torno e outros na plaina. Guiando-se pelos processos de torneamento, faceamento, trepanação e aplainamento estão sendo feitas as primeiras partes do projeto (ver figura 4).

Figura 4 – Operação na plaina

As superfícies e extremidades dos materiais ficaram com um ótimo acabamento, tendo como produto o cavaco (ver figura 5), ganhando assim os padrões exigidos.

Figura 5 – Superfície usinada e o cavaco

5. CONCLUSÃO

O ganho de conhecimento com a construção do equipamento foi de grande importância, pois ele ensinou os integrantes do projeto a estabelecer diferentes padrões tanto na parte acadêmica como na área profissional, em vista que esses ganhos trouxeram um pouco mais de experiência e deram mais maturidade para desenvolver futuros projetos nas áreas de usinagem.

Com o auxilio dos orientadores os alunos conseguiram um bom desempenho ao operarem as máquinas (torno e plaina), aprendendo assim sobre os processos de usinagem e alguns assuntos ligados a mecânica. Estando ciente do valor do plano que foi passado os alunos estarão dispostos a dar o melhor e cada vez mais se aprofundar no assunto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ROSA, L.C e DONIZETE, J. **Torno e o processo de torneamento** Disponível em: <http://www.sorocaba.unesp.br/professor/luizrosa/index_arquivos/OMA%20P1%20Torneamento.pdf> Acesso em: 28 set 2011.

GUEDES, L.F.M. **Processos de fabricação por usinagem/conformação.** Disponível em: <http://www.feng.pucrs.br/gati/downloads/proposta1.pdf> Acesso em: 28 set 2011.

GUIMARÃES, V.A. **Sistema de baixo custo para nucleação de pré-trincas por fadiga em corpos de prova de tenacidade à fratura.** Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/mr/v4n3/a11v04n3.pdf> Acesso em: 20 set 2011.

CARLOS, R.C. **Processos de usinagem.** Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAUvoAK/processos-usinagem> Acesso em: 28set 2011

ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DA REDE DE AR COMPRIMIDO EM AMBIENTE EDUCACIONAL

T. O. Freitas[1] e A. P. Moreira[2]
[1]Instituto Federal do Ceará - Campus Fortaleza e [2]Instituto Federal do Ceará – Campus Fortaleza
thyagoof@globo.com – apmoreira@ifce.edu.br

RESUMO

Desde a década de 60, a automação industrial através de dispositivos pneumáticos vem crescendo em todos os segmentos industriais. Isso se deve às mais variadas vantagens que o ar pressurizado proporciona: abundância em natureza, facilidade no transporte, armazenagem relativamente simples e pouca variação a elementos externos (temperatura, umidade e condições climáticas). Para se garantir um bom fornecimento de ar pressurizado em uma instalação industrial, deve-se invariavelmente dimensionar, de maneira adequada, o sistema de ar comprimido em questão.

A proposta desse artigo é realizar um estudo de caso verificando as condições atuais da rede de ar comprimido do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, bem como comparar se o mesmo atende às especificações da norma ASTM A120 SCHEDULE 40. Os resultados da análise da rede de ar comprimido do IFCE demonstraram que o compressor de ar foi sobredimensionado e os diâmetros das tubulações possuem valores superiores ao recomendado pela norma.

Palavras-chave: Ar comprimido, dimensionamento, pneumática.

1. INTRODUÇÃO

O ar comprimido é usado como elemento fornecedor de energia nas mais variadas aplicações industriais. É inegável sua importância no processo industrial ao lado de outros elementos: fluidos em sistemas hidráulicos e energia elétrica em sistemas elétricos. Todos têm um ponto em comum: sua capacidade de armazenar energia está diretamente relacionada com seu volume por unidade de tempo. Isso é claramente observado em sistemas pressurizados, pois quanto maior a disponibilidade de ar comprimido por unidade de tempo na rede, melhor é seu desempenho junto aos atuadores.

Comparando o sistema baseado a ar comprimido aos demais, observam-se vantagens às outras fontes de energias citadas. Seu grande mérito está no fato de ser uma fonte de energia abundante e gratuita. Junte a isso o fato de sua grande facilidade de transporte e armazenamento. O ar comprimido pode ser transportado por longas distâncias, favorecendo a instalação de uma central fornecedora, que equipada com um reservatório, somente funcionará se a pressão do ar cair abaixo de um valor crítico.

Segundo Parker (2000), a escolha do sistema de ar comprimido exige um planejamento detalhado, que prevê qual o equipamento mais adequado para cada caso e, também, como o investimento será revertido em benefícios para o cliente. O projeto deve atender as reais necessidades da empresa através de equipamentos ideais.

A utilização de compressores dedicados em ambientes industriais é inviável. O mais conveniente e racional é efetuar a distribuição do ar comprimido, criando vários pontos de utilização nos setores fabris. Um sistema de distribuição perfeitamente executado deve apresentar os seguintes requisitos: pequena queda de pressão entre o compressor e as partes de consumo, não apresentar escape de ar e apresentar grande capacidade de realizar separação de condensado.

O cálculo correto das redes de distribuição principal, secundárias e alimentação, a manutenção periódica de elementos filtrantes saturados, a regulagem precisa da pressão de cada ponto de consumo, a escolha de componentes e acessórios com menor restrição ao fluxo de ar, bem como a seleção correta do compressor em função das necessidades de pressão do sistema, poderão contribuir de forma fundamental para a redução do consumo de energia associado à perda de carga (METALPLAN, 2008).

Segundo estatísticas da Metalplan (2008), cerca de cinco bilhões de toneladas de ar são comprimidas por ano em todo o planeta, gerando um consumo de quatrocentos bilhões de kWh a um custo de vinte bilhões de dólares. São números que provocam um grande impacto no meio ambiente, mas que poderiam reduzidos com o correto dimensionamento de compressores e redes pneumáticas.

2. EFICIÊNCIA NO DIMENSIONAMNETO

Com a nova tendência mundial de desenvolvimento sustentável, é evidente que o correto dimensionamento das redes de ar pressurizado é necessário para garantir uma melhor utilização desse recurso natural. Além disso, sobredimensionar instalações e equipamentos pneumáticos acarreta num alto nível de investimento, que atualmente pode fazer a diferença na aceitação de um projeto.

A importância do dimensionamento deve ser considerada, pois uma queda de pressão elevada na distribuição pode dar origem a uma pressão de ar no ponto de consumo inferior à prevista, ocasionando perda de potência nas ferramentas pneumáticas. O conhecimento do balanço energético do sistema de ar pressurizado pode contribuir para identificar as perdas que reduzem a eficiência do mesmo, fornecendo um ponto de partida para a identificação de oportunidades para a implantação de ações de melhorias.

Segundo Rocha (2009), as principais perdas de eficiência energética em um sistema de distribuição de ar comprimido são decorrentes da perda de calor de compressão. Na Figura 1 é mostrado um balanço energético característico de perdas em um sistema de ar comprimido.

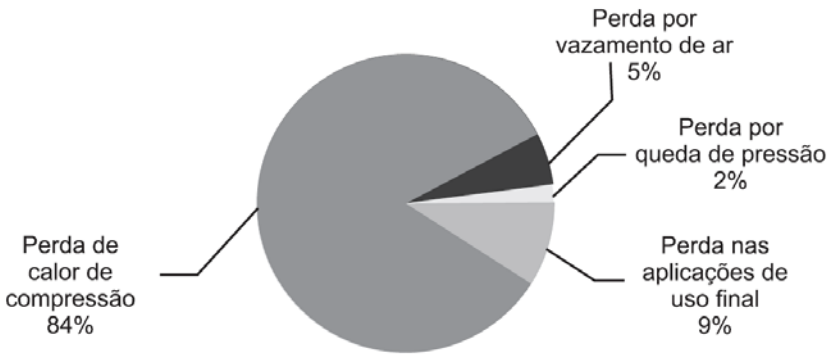


Figura 1 – Principais perdas em um sistema de ar comprimido

A base para um eficiente dimensionamento é o correto mapeamento do processo industrial, definindo a área de instalação, a pressão de trabalho e expansões futuras. Para a sustentabilidade e economia do sistema, é importante investigar inicialmente as possibilidades de recuperação energética, que trazem um rápido retorno de investimento. Frequentemente, mais de 90% da energia utilizada em sistemas pneumáticos pode ser recuperada. (LINDEBERG, 1998).

É importante salientar que projetos subdimensionados dão a falsa impressão de redução de custos. Trust (2005) cita que frequentemente os diâmetros das tubulações são reduzidos para redução de investimento. Contanto, isso é uma falsa impressão de economia, pois a restrição no diâmetro das tubulações causa um aumento na sua pressão interna, resultando num maior consumo de energia.

Além do correto dimensionamento, outra forma de se conseguir uma maior eficiência energética é através da recuperação de calor. Barber (1997) afirma que a maioria dos sistemas de ar comprimido do Reino Unido foram projetados para operarem com recuperação da energia calorífica através de radiadores instalados nos compressores.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O dimensionamento foi realizado no Laboratório de Máquinas Operatrizes (LMO) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, no campus Fortaleza.

Primeiramente, foram identificados os consumidores de ar comprimido do laboratório, bem como seu consumo de ar médio. Tais consumidores podem ser resumidos basicamente em atuadores pneumáticos e centros de usinagem. Os primeiros são utilizados no laboratório de pneumática para o ensino de automação industrial baseado na tecnologia pneumática. Já os centros de usinagem são utilizados nas aulas de CNC (controle numérico computadorizado) e utilizam ar comprimido apenas para a troca de moldes e ferramentas, sendo assim classificados como consumidores secundários. Na Figura 2 é mostrado um exemplo desses atuadores. Eles são os principais consumidores de ar comprimido do LMO, visto que são utilizados constantemente em aulas e apresentações.

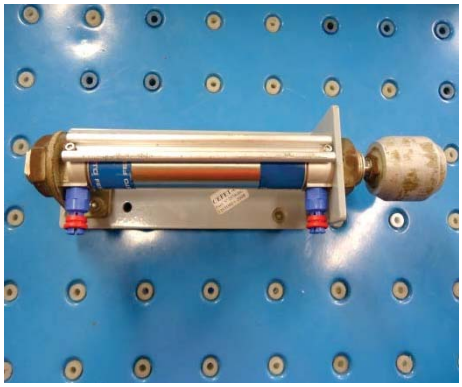


Figura 2 – Atuador pneumático

Na Figura 3 é mostrado um centro de usinagem do LMO. Para todos os cálculos, utilizou-se como pressão de trabalho 6 bar. Considerou-se também, o caso de consumo de ar mais crítico que pode ser encontrado no LMO: funcionamento pleno com todos os atuadores e centros de usinagem funcionando ao mesmo tempo por 8 horas diárias.

Figura 3 – Centro de usinagem

Para o cálculo de consumo de ar dos atuadores, utilizou-se Eq.01:

$$C_a = \frac{A.L.N_c.R_c}{1000} \qquad \text{[Eq. 01]}$$

Onde:

C_a – consumo de ar (L/min)

A – área útil do atuador (cm²)

L – curso do pistão do atuador (cm)

N_c – Número de ciclos por minuto = 10

R_c – Razão de compressão = 6,92 bar

Já com relação ao consumo dos centros de usinagem, precisou-se entrar em contato com seus respectivos fornecedores, visto que não existe fórmula ou ensaio para sua estimação. A Tabela 1 apresenta o consumo de ar comprimido para cada equipamento:

Tabela 1 – Consumidores de ar comprimido

Consumidores	Tipo	Área útil (cm^2)	Curso do pistão (cm)	Quantidade	Consumo de ar (L/min)
Festo DSNN 25-100	Atuador Duplo Efeito	9,03	10	5	31,25
Festo ESN 25-50	Atuador Simples Efeito	4,91	5	2	3,40
Festo DGLL 25-70	Atuador Duplo efeito	9,03	7	1	4,37
Festo D60 16-200	Atuador Sem Haste	3,23	20	1	4,48
Discovery Romi 1000	Centro de usinagem	-	-	1	100
Diplomat Skybull 600	Centro de usinagem	-	-	1	10

Somando o consumo calculado de todos os equipamentos enumerados, chega-se a um consumo total de 153,50 L/min. Adotando um fator de segurança de 20%, conclui-se que o consumo efetivo de ar comprimido do LMO é de 168 L/min. Esse fator de segurança é aplicado ao valor teórico de trabalho encontrado e garante a segurança no dimensionamento do compressor. Ressalta-se que a adoção de um fator de segurança muito alto acaba por sobredimensionar o projeto, perdendo eficiência e aumentando os custos envolvidos.

O compressor utilizado atualmente no instituto possui uma vazão estimada de 566 L/min, evidenciando um total sobredimensionamento com relação aos consumidores de ar comprimido existentes no laboratório. Nota-se que ele possui mais de três vezes o valor da vazão ideal. Esse fato acontece na maioria das empresas onde se é necessário o uso de ar comprimido. Os projetistas preferem sobredimensionar o sistema de ar comprimido para garantir um fornecimento contínuo, acarretando gastos desnecessários.

Observa-se na Tabela 2 um breve comparativo entre o compressor utilizado atualmente e outro que possui as características ideais para o dimensionamento proposto.

Tabela 2 – Comparação entre os compressores

	Compressor utilizado	Compressor recomendado
Potência (kW):	3,7	1,5
Vazão (L/min):	566	283
RPM:	1050	2185
Peso (Kg):	238	81
Preço:	R$ 4.350,00	R$ 2.724,98
Consumo de energia mensal:	R$ 497,28	R$ 201,60

É notória a grande redução de custos que a instalação de um compressor adequado produziria na energia elétrica. Sendo o IFCE uma instituição pública, de acordo com informativo tarifário da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), a tarifa correspondente é de R$/kWh 0,56. A instalação do compressor recomendado acarretaria numa redução de R$ 295,68 por mês para o IFCE. Além disso, observa-se o alto investimento necessário para aquisição do compressor utilizado, destacando mais uma razão para o correto dimensionamento.

Após abordar todos os aspectos referentes aos parâmetros do compressor, dimensionaram-se as linhas de distribuição que irão direcionar o ar comprimido produzido pelo compressor até os consumidores finais, que nesse caso são os atuadores e os centros de usinagem. Essa parte do dimensionamento se baseará na norma ASTM A120 SCHEDULE 40. Ela regulamenta todos os aspectos referentes à tubulação que servirá de condução para gases e líquidos não corrosivos que possam vir a conter sólidos em suspensão. O diâmetro nominal da tubulação pode ser calculado pela Eq.02:

$$d_n = 10 \times \left(\sqrt[5]{\frac{1{,}663785 \times 10^{-3} \times Q^{1{,}85} \times L_t}{\Delta P \times P}} \right) \quad \text{[Eq. 02]}$$

Onde:

d_n – diâmetro nominal (mm)

Q – vazão de consumo (m³/h)

L_t – comprimento da tubulação (m)

ΔP – perda de carga admissível = 0,3 kgf/cm²

P – pressão de trabalho = 6 bar

Para determinação do comprimento efetivo da tubulação, deve-se levar em conta a distância do compressor até os pontos de utilização de ar comprimido. Na Figura 4, é mostrada a planta baixa do LMO destacando a rede de ar comprimido presente no laboratório.

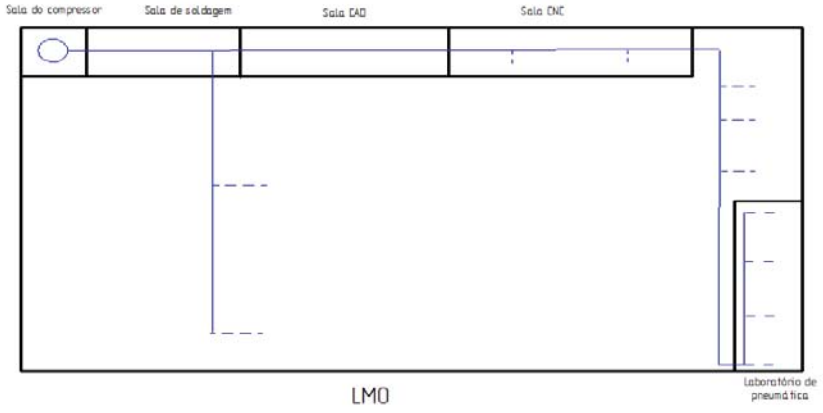


Figura 4 – Planta baixa LMO

Considerando também as singularidades (descontinuidades ao longo do conduto: cotovelos, curvas, tês, reduções), obtiveram-se comprimentos de 132 m para a linha principal e 19 m para a linha secundária. A Tabela 3 mostra os diâmetros externos calculados em comparação com os diâmetros utilizados atualmente no laboratório.

Tabela 3 – Comparação entre os diâmetros da tubulação

	Linha principal	Linha secundária
Diâmetro atual (mm)	34	22
Diâmetro recomendado (mm)	28,31	7,91

Como deve se trabalhar com diâmetros nominais, utiliza-se a tabela encontrada na norma para se determinar o diâmetro comercial mais próximo do encontrado. Observando a Tabela 4, conclui-se que o diâmetro nominal recomendado para a linha principal é de 1 polegada, enquanto que para a linha secundária é de ¼ de polegada. Com relação aos materiais da tubulação, deve-se dar preferência aos resistentes à oxidação como aço galvanizado, aço inoxidável, alumínio, cobre ou plásticos de engenharia. Também se recomenda o uso de conexões de raio longo para minimizar a perda de carga.

Tabela 4 – Diâmetros padronizados para tubulações – Norma ASTM A120 Schedule 40

Nominal (in)	Externo (mm)	Interno (mm)
1/8	-	-
¼	13,70	9,20
3/8	17,20	12,6
½	21,30	15,8
¾	26,70	21
1	33,40	26,10
1 ¼	42,20	35,10

4. CONCLUSÃO

O dimensionamento da rede de ar comprimido do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE campus Fortaleza demonstrou um considerável sobredimensionamento tanto do compressor, como das linhas de distribuição de ar comprimido. Demonstrou-se através dos cálculos realizados a importância de duas equações referentes à produção e distribuição de ar comprimido, utilizando como estudo de caso o Laboratório de Máquinas Operatrizes. Considerou-se o laboratório funcionando no caso mais crítico que pode haver na instituição: quatro aulas pela manhã e quatro à noite, totalizando oito horas de funcionamento pleno de todos os consumidores.

O dimensionamento revelou que o compressor utilizado atualmente está 237% acima do que é necessário, gerando um custo mensal de R$ 295,68 para a instituição. Já as linhas de distribuição principal e secundária estão sobredimensionadas em 20% e 178%, respectivamente. A aquisição de um novo compressor é sustentada pelo fato de que em 10 meses de utilização do compressor sobredimensionado, com o atual custo mensal gerado, já se teria verba suficiente para compra do compressor dimensionado nesse trabalho.

Os custos apresentados nesse trabalho são irrisórios se comparados aos existentes nas atuais indústrias brasileiras que possuem fornecimento de ar comprimido. Indústrias que funcionam vinte quatro horas por dia e sete dias na semana poderiam ter seus custos reduzidos com essa simples medida preventiva. A preocupação com o correto dimensionamento ainda não é uma realidade nas indústrias brasileiras, sendo o desenvolvimento sustentável ainda deixado em segundo plano.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução homologatória Nº 968: Tarifas de fornecimento de energia elétrica referentes à COELCE.** Brasília, 2010.

BARBER, A. **Pneumatic handbook**. 8.ed. Reino Unido: Elsevier Science & Technology Books, 1997.

FIALHO, A.B. **Automação Pneumática: Projetos, dimensionamento e análise de circuitos**. 6. ed. São Paulo: Editora Érica, 2008.

KAESER, C. **Designing your compressed air system**. Alemanha, 2005.

LINDEBERG, P. **Compressed air manual**. 6. ed. Suécia: Atlas Copco Compressor AB, 1998.

METALPLAN. **Manual de ar comprimido.** 3.ed. São Paulo, 2008.

PARKER, H.C. **Dimensionamento de redes de ar comprimido**. Apostila M1004BR. São Paulo, 2006.

ROCHA, C.R.; MONTEIRO, M.A.G. **Manual PROCEL: Eficiência energética em sistemas de ar comprimido**. Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, 2009.

TEBECHERANI, C.T.P. **Noções básicas sobre tubos de aço carbono**. Revista Siderurgia Brasil – Edição 37, 2007.

TRUST, C. **Energy efficient compressed air systems**. Reino Unido: Queen's Printer, 2005.

ESTUDO EXPERIMENTAL DE UM PEQUENO ELEVADOR DE CARGA

Marcelo Magalhães Ávila Paz[1]
[1]Instituto Federal do Rio Grande do Norte - Campus Santa Cruz
Email: Marcelo.paz@ifrn.edu.br

RESUMO

Apresenta-se um projeto didático de um protótipo de um pequeno elevador de carga para uso em residências ou comércio. Nesse projeto foram testados: interface com Controlador Lógico Programável (CLP), circuitos combinacionais e circuito de contatores. O elevador é movido por motor de corrente contínua de baixa tensão 12 V. O estudo experimental tem por objetivo desenvolver conhecimentos e habilidades de eletro/eletrônica, cinemática, dinâmica e elementos de máquinas. O conceito módulo será utilizado na eletrônica e na mecânica facilitando a manutenção e o aprendizado por parte dos alunos. Espera-se que seja possível a adequação do elevador para ensaios em Laboratórios de Mecatrônica e Automação. Ele servirá como base para futuros projetos de elevadores de vários andares e de máquinas de içamento de cargas.

Palavras-chave: Automatismo, Elevador de carga didático, Linguagem gráfica G, Circuitos digitais e CLP.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, é comum a construção de pequenas edificações residenciais, de até quatro andares, nas cidades brasileiras, e que não possuem elevador. Isso ocasiona pequenos transtornos para os condôminos, no que diz respeito à movimentação de pequenas cargas, tais como: botijão de água, botijão de gás de cozinha e pacotes de feira da semana. Fazendo parte ainda dessa lista, o lixo a cada três dias.

Diante do fato supracitado, é apresentado um projeto que procura solucionar esses pequenos inconvenientes aos moradores: desenvolvimento de um pequeno elevador de carga, de fácil instalação, manutenção e baixo custo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O projeto tem por objetivo a construção de um protótipo de um elevador de carga, residencial ou comercial, desenvolvido através dos conhecimentos de eletro/eletrônica, cinemática, dinâmica e elementos de máquinas. O conceito de modulagem será utilizado no circuito eletrônico e na estrutura mecânica facilitando a fabricação e manutenção.

3. METODOLOGIA

A estrutura do elevador será construída segundo os princípios de resistência dos materiais e elementos de máquinas. A estrutura mecânica modular permite que o elevador seja acrescido em sua altura.

O automatismo será projetado para realizar funções idênticas aos elevadores existentes: movimentar-se ao primeiro comando, manter-se em movimento e parar ao encontrar um sensor de comando por andar (fim-de-curso), mantendo-se assim até haver outro acionamento.

3.1 Estrutura Mecânica

Os dois movimentos a serem realizados pelo elevador durante as etapas de subir e descer podem ser executados utilizando a inversão de corrente de um motor de corrente contínua (cc) Bosch tipo 9 390 082 037, Bosch (2005). O motor cc que tem acoplado um mecanismo tipo parafuso-sem-fim com uma engrenagem helicoidal (fig.1) que favorece o travamento quando desligado, aumentando a segurança do usuário e da carga.

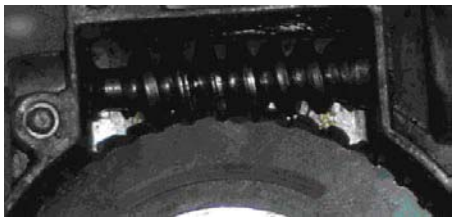


Figura 1 – Mecanismo Parafuso-sem-fim e coroa.

A tração da carga é realizada por um cabo de aço, fixo por abraçadeiras, como mostra a figura 2a, e roldanas dotadas de rolamentos.

Figura 2a – Abraçadeiras para fixação do cabo.

O cabo é enrolado em um sarilho que está preso ao eixo do motor, o qual, por sua vez, está preso na estrutura, figura 2b. A estrutura apresenta encaixe, tipo andaime que se desmonta.

Figura 2b – Protótipo do elevador: estrutura composta de madeira e aço.

O sistema elétrico completo deve ser separado em duas partes: os equipamentos que devem operar no campo e os equipamentos que operam dentro da residência. Essa separação protege os equipamentos das mudanças no clima. Na figura 3, vemos detalhes do sarilho e sua fixação na estrutura.

Figura 3. Detalhe do sarilho com mancais de rolamento.

3.2 Estrutura Elétrica- acionamento por contatores

O motor de corrente contínua, que movimenta o sarilho, funciona no modo “on-off”, possuindo alimentação por fonte chaveada de 12V. Devido às altas correntes (acima de 5A) necessárias para acionar o motor cc foram desenvolvidos circuitos de acionamento por contatores, como mostram as figuras 3a e 3b.

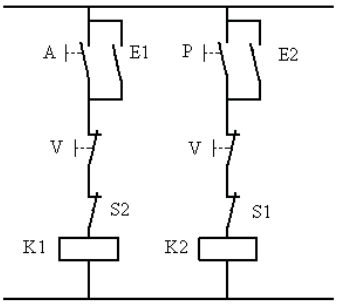


Figura 3a – Circuito de comando por contator

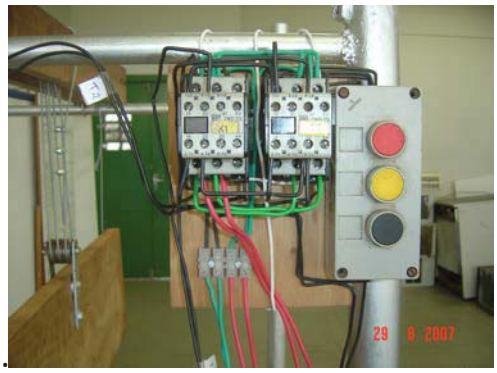


Figura 3b – Testes realizados com contatores.

O acionamento é feito somente para um andar. Na lógica de acionamento são utilizadas chaves que disponham de seção: normalmente fechada (NF) e normalmente aberta (NA), em um mesmo dispositivo. Na figura 3a elas estão representadas por S1 e S2. As botoeiras A (verde) e P (preta) são botoeiras de ação simples. Os contatores K1 e K2 possuem contatos auxiliares E1 e E2 que servem para o intertravamento. A chave V(vermelha) é a chave de segurança. A chave de segurança deve ser colocada na porta do elevador. O circuito de inversão é feito com outros contatos auxiliares.

3.3 Estrutura Elétrica - Acionamento Eletro/ Eletrônico

O elevador é içado por um motor cc que deve girar em duas direções. Isso é feito através de um relé para acionamento do motor cc (módulo liga/desliga), figura 4a.

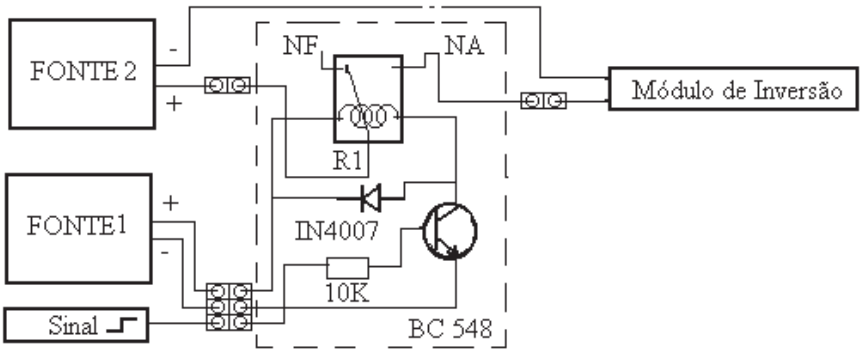


Figura 4a – Circuito de acionamento liga/desliga por relés.

O relé, denominado R1, é utilizado para acionar o motor com tensão de 12V (Vcc), que é fornecida por uma fonte de alimentação AT300W de microcomputador modelo PS300W com capacidade de 12A na alimentação de +12V, representada como FONTE 2.

Na fig. 4b, vê-se o módulo de inversão de polaridade. Os relés R2 e R3 funcionam como chave HH. Posicionados em "NA", acionam o motor no sentido horário para movimentar o elevador. Comutados em "NF", invertem a polaridade e acionam o motor para movimentar o elevador no sentido contrário. No caso de não acionamento de um dos relés, a disposição das ligações dos contatos favorece a segurança do motor não havendo curtocircuito. Os componentes e valores de resistência são os mesmo da figura anterior.

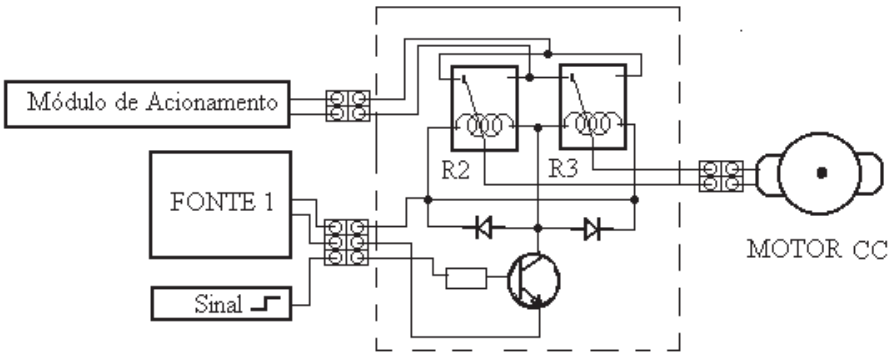


Figura 4b - Circuito de inversão de polaridade.

No motor utiliza a carcaça ligada a massa, terra. Uma pequena modificação se faz necessária no seu circuito interno: retirar o ponto de aterramento da carcaça.

Devido aos movimentos de deslocamentos do elevador (inércia) foi utilizado um sensor de aproximação, chave-magnética (*reed-switch*), fixo na estrutura, para indicar o meio-curso de movimento, que é dado quando imãs, fixos na cabine de carga do elevador, alcançam a posição específica (como fosse os andares). Observe-se, na figura 5, o circuito do automatismo na parte debaixo do quadro. Foram utilizados circuitos com componentes discretos.

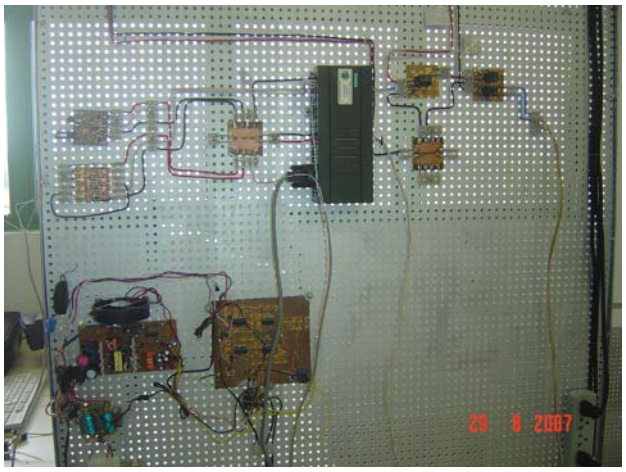


Figura.5 - Circuito geral com CLP e circuitos combinacionais.

Após a montagem dos circuitos de relés foi feita a sua ativação utilizando circuitos transistorizados que recebem os sinais dos monoestáveis (flip/flops), Idoeta (1986), de acionamento e inversão. A tensão sobre a bobina do relé R1 é mantida em 12V durante todo o período em que o elevador está em movimento. A tensão para acionamento do relé vem de uma fonte auxiliar, a mesma que alimenta o circuito digital. Esta divisão das fontes foi requerida devido à interferência do motor nos circuitos monoestáveis.

3.4 Sequência de Operação

A Sequência de operação proposta depende exclusivamente dos sensores e sinais de comando. A sequência dada é a seguinte: Inicialmente todas as chaves estão em status igual à zero (estado fechado) com exceção do sensor de fim-de-curso Bx;

1. A cada comando do botão aciona Bo, há uma mudança de estado no flip/flop de comando. Esta entrada recebe o sinal do controle sem fio.

A sequência de acionamento é mostrada na tabela 1, a sequência de segurança na tabela 2 e a sequencia de inversão na tabela 3. O circuito será simulado na linguagem gráfica LabVIEW7.1 (2004) mostrado na figura 6.

Tabela 1 – Tabela verdade para o acionamento do motor.

		Entradas					Saída
Item		**Bo**	**Bx**	**F/F ComQ2**	**F/F ContQ1**	**F/F SegQ1**	**Aciona motor**
1	**Parado**	0	0	1	1	0	0
2	**Subindo**	1	0	0	1	0	1
3	**Subindo**	0	1	1	1	0	1
4	**Parado**	0	0	1	1	0	0

5	**Desce**	1	0	0	1	0	1
6	**Descendo**	0	1	1	1	0	1
7	**Parado**	0	0	1	1	0	0

Tabela 2 – Tabela verdade para paradas de segurança quando em movimento.

	Entradas	**Saída**					
Item	**Bo**	**Bx**	**F/F ComQ2**	**F/F ContQ1**	**F/F SegQ1**	**Aciona motor**	
8	**Pára no meio**	1	1	1	1	1	0
9	**Pára**	1	1	1	0	0	0

Tabela 3 – Tabela verdade da inversão.

Aciona motor	**Inverte**
1	**Muda**
0	**Inverte**

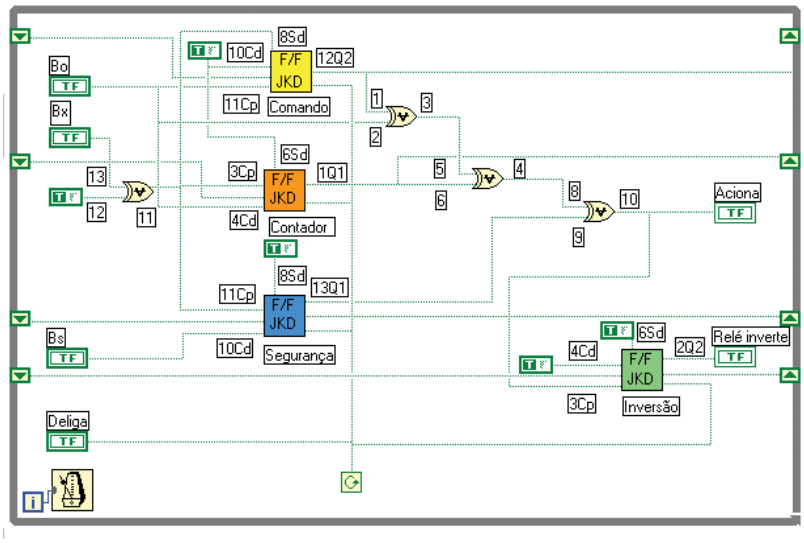


Fig.6 – Diagrama com flip/flop e circuitos combinacionais em linguagem gráfica.

3.5 Estrutura Elétrica - Acionamento Através de CLP

A tabela 4 mostra as tarefas previstas e suas correspondências lógicas das entradas e saídas do CLP, Siemens (2005). Apesar do CLP ser muito versátil, se faz necessário uma simplificação na lógica. Essa simplificação reduz as linhas de programação e, consequentemente, o seu tamanho, deixando espaço para futuras aplicações.

A sequência de operação proposta depende exclusivamente da programação. A sequência dada é a seguinte: 1) inicialmente, todos os relés estão com *status* igual a zero (estado fechado); 2) a cada comando do CLP, haverá uma mudança de estado no relé, que é dada por pulso. A programação simula um biestável, guardando a última informação.

Nas figuras 6 e 7, apresenta-se a programação do automatismo. Quando há corrente, o valor lógico é 1 (um). No caso do circuito eletrônico, há passagem de corrente. Se for 0 (zero), não há passagem de corrente.

Por exemplo: supondo-se que o CLP acione o motor, considera-se que R2 e R3, no módulo de inversão, estão posicionados de tal forma que a tensão obtida sobre o motor seja necessária para girar o pinhão no sentido horário. A sequência de energização do relé R1, no módulo de acionamento é, no sentido horário, indicado no item 03 da tabela 4. Essa ativação do relé fará com que o motor cc gire no sentido dado por Q0.1, sendo: 1 =>Direita (D) e 0 => Esquerda (E).

Além do comando de tempo, o sensor magnético de posicionamento fornece informações para o CLP, indicando o momento de parar. Isso é feito com o sensor (I0.0) posicionado na estrutura e imãs presos no elevador.

Tabela 4 – Tabela verdade para automatismo do elevador.

	B0	Sensor	Ti	Tf	R	S	Ac Motor	Inv	
Item	Tarefa prevista - CLP	I0.2	I0.0	M0.0	M0.1	M0.2	M0.2	Q0.0	Q0.1
01	Desligado	0	0	0	0	1	0	0	0
02	Ac sistema, Ti	1	0	1	0	1	0	0	0
03	Tf, Ac Motor, Inv	1	0	1	1	0	1	1	1
04	Imã mov, Mov D.	1	1	0	0	0	1	1	1
05	Imã Pára, Ti	1	0	1	0	1	0	0	1
06	Tf, Ac Motor, Inv	1	0	1	1	1	0	1	0
07	Imã mov, Mov E.	1	1	0	0	0	0	1	0
08	Imã Pára, Ti	1	0	1	0	1	0	0	0
09	Tf, Ac Motor, Inv	1	0	1	0	0	1	1	1
10	Imã mov, Mov D.	1	1	0	0	0	1	1	1

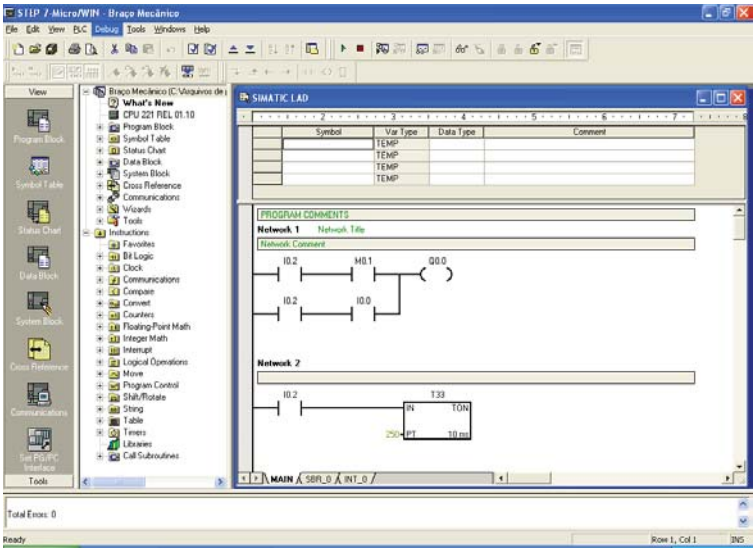


Figura 7 – Exemplo da Programação Ladder.

Após a montagem dos circuitos de relés foi realizada da mesma forma que foi feita nos circuitos combinacionais, utilizando circuitos transistorizados que recebem os sinais dos sensores via CLP. A tensão sobre a bobina do relé R1 é mantida em 12V durante todo o período em que o elevador está em movimento. A tensão para acionamento do relé vem de uma fonte auxiliar (FONTE 1), a mesma que alimenta o circuito digital. Essa divisão das fontes foi requerida devido à interferência do motor nos circuitos eletrônicos.

4. ANÁLISE

Os circuitos apresentados utilizam uma lógica comum a todos, seja ela feita por contatores, circuitos combinacionais e CLP. É interessante observar que a escolha da tecnologia a ser aplicada dependerá de diversos fatores: custos dos equipamentos, entendimento da tecnologia, disponibilidade de materiais, robustez, custos de manutenção e outros.

O desenvolvimento desses circuitos proporcionou aos participantes um contato inicial com o mundo real da mecânica, eletricidade e da lógica. As dificuldades encontradas são inerentes à diversificação dos processos e suas particularidades.

O elevador deverá passar por testes de carregamento, a fim de observar, além da resistência do conjunto proposto, a melhor configuração para posicionamento dos sensores, proteção dos equipamentos e das pessoas, leiaute da cabine e outros dimensionamentos.

Os testes realizados com uma fonte de computador mostram que ela não tem potência suficiente para o acionamento de cargas, chegando a queimar. Novos testes deverão der realizados, desta vez utilizando uma fonte preparada para suportar cargas maiores. Outro teste deverá ser realizado utilizando uma bateria de automóvel de 12V no lugar da fonte. Serão ensaiados: cargas versus corrente de elevação e velocidade de deslocamento.

5. CONCLUSÃO

Espera-se que, após a execução deste protótipo, seja possível a adequação do elevador para ensaios em aulas de laboratório de automação. Esse protótipo servirá com base para projetos de elevadores de vários andares e de máquinas de içamento de cargas.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao IFSE Lagarto por ter disponibilizado a infraestrutura de laboratórios.

Ao Setor de manutenção do IFSE, pelo apoio nas montagens das instalações.

Ao LES/UFPB pelo programa LabVIEW 7.1.

7. REFERÊNCIAS

Acesso ao endereço da internet em www.siemens.com/s7-200.

Apostila ICC - **Curso de Controlador Lógico Programável** – Aplicações de Automação.

Bosch. **Catálogo de Motores Elétricos**. Acesso ao endereço da internet, www.bosch.com.br. Em 21-02-2005.

Catálogos Técnicos de componentes eletrônicos (DATASHEET) de diversos fabricantes.

Fialho, Arivelto B. (2002) **Instrumentação Industrial, conceitos, aplicações e análise**. Ed. Érica.São Paulo-SP.

Garcia, Luís F. (2000) Formação empreendedora na educação Profissional – Projeto Integrado MEC/SEBRAE de Técnicas Empreendedora. LED - Laboratório de Ensino a Diatância/UFSC. Florianópolis.

Idoeta, Ivan V.; Capuano, Francisco G. (1986) **Elementos de Eletrônica Digital**, 11ª Ed. Editora Erica. São Paulo-SP.

J. J. Craig, (1986) **Introduction to Robotic Mechanics & Control**, Addison-Wesley Publishing Company.

Malvino, Albert P., (1985) **Microcomputadores e Microprocessadores**, McGraw-Hill. 07

Manuais SIEMENS SIMATIC S7-200 Programmable Controller Hardware and Installation.

Manuais SIEMENS SIMATIC Software STEP 7-micro/DOS.

Manuais SIEMENS SIMATIC TD 200 Operator Interface.

McComb, Gordon, (1987), Robot Builder's Bonanza 99 Inexpensive Robotics Projects, McGrawHill.

Natale; F. (2000) Automação Industrial. 6ª ed. Ed. Érica São Paulo.

Paz, Marcelo M. A (2005) Cavalcanti, José Homero F.; Belo, Francisco A.; Neto, Francisco A. F. S. – Portão Automático Corrediço Alimentado por Fonte Chaveada de 12v – Anais em CD do IV SNCA - Seminário Nacional de Controle e Automação. Salvador - BA. 19 a 22 de julho de 2005.

Paz, Marcelo M. A (2007) Apostila de Elementos de Máquinas. CEFET-SE UNED Lagarto-SE.

Revista Elektor – Eletro eletrônica e Micro Informática – Ano 6. N° 60. pp 11-14 e 42-48.

www.philips.com.br. Acessado em 20-07-2004.

EVOLUÇÃO E GERENCIAMENTO DA QUALIDADE INDUSTRIAL

Andréia de Araújo Fortes Cavalcante Autor[1] Edmar de Sousa Braga Júnior Autor[2] Filipe Gomes Soares Autor[3] Thales Ranniere Coelho Amorim Autor[4] e Ayrton de Sá Brandim Orientador[5]
[1]Instituto Federal do Piauí - Campus Teresina/Central, [2]Instituto Federal do Piauí - Campus Teresina/Central, [3]Instituto Federal do Piauí – Campus Teresina/Central, [4]Instituto Federal do Piauí - Campus Teresina/Central, [5]Instituto Federal do Piauí - Campus Teresina/Central
andreiacavalcate14@hotmail.com – junior-_3000@hotmail.com – filipegsoares@gmail.com - trca_ca@yahoo.com.br - sabrandim@yahoo.com.br

RESUMO

Conceituado como atributo ou propriedade pela qual algo se individualiza, distinguindo-se das demais, a qualidade e o seu controle na indústria têm uma importância extraordinária no cenário comercial nacional/internacional e é essencial para o sucesso de uma empresa e seu produto perante os consumidores finais. O termo qualidade vem do latim qualitate, e é utilizado em situações bem distintas. Quando se fala da qualidade de vida das pessoas, da qualidade da água que se bebe ou do ar que se respira, quando se fala da qualidade do serviço prestado por uma determinada empresa, ou ainda quando se fala da qualidade de um produto no geral, por exemplo. O presente artigo tem como finalidade e foco mostrar os conceitos, fundamentos, preceitos e caracteristicas da qualidade no âmbito da indústria desde sua origem até os dias atuais.

Palavras-chave: Metrologia, Qualidade, Qualidade Industrial

1. INTRODUÇÃO

Desde os tempos longínquos, a qualidade industrial tem um papel fundamental nas relações comerciais, ditando as regras de elaboração e produção. Essa preocupação com a qualidade e adequação dos produtos para uma maior satisfação dos clientes só veio aumentando e com o advento da revolução industrial foi necessária uma maior organização desse sistema de qualidade.

A realidade do mercado evidencia a competitividade que as empresas estão inseridas. Nesse sentido, satisfazer o consumidor possibilita a conquista e fidelização dele, à medida que cliente satisfeito repete suas compras e repassa a outros suas boas experiências. Porém, a satisfação somente é alcançada a partir de diversas medidas que as empresas precisam executar para oferecer tais produtos e serviços de qualidade. Essas ações podem variar desde investimentos em infraestrutura, capital humano e produtivo, entre outros.

Uma vez atingido este patamar e ofertando agora algo superior, a corporação passa a atrair mais consumidores, maximizando seus lucros. Diante dessa situação, as empresas concorrentes, sentindo-se ameaçadas pela expansão dessa empresa, passam então a avaliar os pontos positivos que atraíram a demanda dos clientes e reciclam seus conceitos. Dessa forma, investem na qualidade de produção com o fito de angariar esse nicho de consumidor e, assim, tornar-se líder de mercado.

Essa constante evolução da qualidade gerada pela disputa de mercado, entretanto, deu seus primeiros grandes passos com o sistema de qualidade definido por Taylor em que se baseava em uma produção em larga escala sem custos excessivos, uma produção onde o que importa é a quantidade produzida, sem desperdícios. Em contra partida, nascia no Japão uma concepção diferenciada onde se acreditava na melhoria da qualidade sem afetar a produtividade. Tais processos serão abordados de forma mais clara no decorrer do presente artigo.

2. CONCEITOS E CARACTERSTICAS DA QUALIDADE

A qualidade de um produto por ser, em sua essência, um atributo bastante subjetivo possui diversos conceitos conforme a visão ou a situação em que a mesma está inserida. Além disso, tal definição é dinâmica na medida em que se altera e evolui conforme o decorrer do tempo, dificultando ainda mais precisar um conceito fixo e bem definido da mesma.

O conceito de qualidade de acordo com a ISO 9000-2005 é definido: “qualidade é o grau em que um conjunto de características inerentes cumpre os requisitos. NOTA 1 O termo "qualidade" pode ser usado com adjetivos tais como pobre, bom ou excelente. NOTA 2 "Inerente", ao contrário de "atribuído", os meios existentes em alguma coisa, especialmente como uma característica permanente”.

Os autores: José Carlos de Toledo (em seu livro Qualidade Industrial: conceitos, sistemas e estratégias, cap. 1, item 1.1) e Marcos Antônio Ribeiro, (em seu livro Metrologia Industrial: fundamentos da confirmação metrológica, sessão D - fundamentos da qualidade, item 8.3 e 8.4), descrevem os diferentes conceitos de qualidade na visão dos principais autores da área citando: Juran define qualidade como “adequação ao uso”, onde o foco da qualidade é a necessidade do usuário final e Crosby, no entanto, define como “conformidade com especificações e necessidades”.

Marcos Antônio em seu livro faz uma serie de analises do gerenciamento da qualidade com bases nesses filósofos, colocando que um dos principais objetivos na gestão da qualidade é evitar o desperdício e o retrabalho, dividindo o processo em etapas, e, com isso, é fácil calcular o custo com a

qualidade. “O mais difícil é medir o custo da não-qualidade ou o prejuízo provocado pela não-satisfação do cliente. Marcos Antônio citando Crosby dizia que a qualidade é grátis, é a não-qualidade que custa”.

3. PROCESSO HISTÓRICO

A importância dada à qualidade teve seu auge com a Revolução Industrial e a disseminação da produção em série. Entretanto essa preocupação vem desde a proveniência das civilizações, tendo como exemplo os egípcios que mediam as pedras que usavam nas pirâmides ou como nos tempos de Hamurabi, em que seu código condenava à morte qualquer construtor que produzisse uma casa e que a mesma desmoronasse por não ser sólida suficiente, matando, assim, o morador (falta de qualidade). Já os gregos e romanos mediam os edifícios e aquedutos para garantir que estes estavam de conformidade com as especificações.

Durante a idade média até os anos 1900, a produção de bens e serviços era confinada a indivíduos isolados ou grupos pequenos de indivíduos. A qualidade era determinada e controlada pelo próprio individuo ou pelo grupo que participava de todas as fases para obter o produto, o próprio trabalhador determinando o seu controle de qualidade. Período este conhecido como Controle de Qualidade do Trabalhador que se caracterizava pelos artesãos que especificavam, mediam, controlavam e garantiam a qualidade das tintas, das roupas, tapeçarias, esculturas e arquiteturas. Para garantir a uniformidade, os estudantes e aprendizes cumpriam rigorosamente programas de treinamentos e acompanhamentos dos mestres. O volume da produção era pequeno. Contudo, é compreensível relacionar a referida evolução com a Revolução Industrial, considerando que a qualidade é a busca por mercado consumidor.

A partir da Revolução Industrial o volume de produção aumentou extraordinariamente, pois a produção de bens deixou de ser artesanal e passou a ser maquino-faturada. Assim, as populações passaram a ter acesso a bens industrializados de diversos tipos. A incessante busca por produtos que fossem de qualidade por um preço acessível fez com que as indústrias, buscando sempre lucro, melhorassem seus produtos para atraírem o maior numero possível de consumidores. A cada instante, surgiam novas máquinas, novos produtos, novos gostos, novas modas.

4. DESENVOLVIMENTO DA QUALIDADE MODERNA

4.1 Supervisor

A revolução industrial gerou uma produção em massa. Com esse novo sistema de produção não havia espaço para desperdício, era necessário um maior controle de gastos, de operários, de peças e demais ferramentas utilizadas durante todo o processo. Frederick Winslow Taylor, engenheiro norte americano, verificando tais necessidades, introduziu um conjunto de pensamentos com o objetivo de maximizar a produção com o menor gasto possível. O resultado foi o especialista: o individuo não era mais responsável pelo produto inteiro, mas somente de uma porção ou parte do produto. Taylor acreditava que a especificação gera o aperfeiçoamento.

Contudo, esse sistema gera uma perda do senso de acompanhamento e identificação do trabalhador com o seu produto. Nesse período foi criado o chamado Controle de Qualidade do

Supervisor. Este é responsável pela coordenação das diferentes tarefas e operações tornando-se o responsável pela qualidade do produto final.

4.2 Inspeção

O volume de produção alavancou de forma vertiginosa, gerando os produtos e procedimento mais complexos. A vantagem do sistema de supervisão foi o aceleramento das produções, posto que tal sistema determinou um maior ritmo das atividades. Porém, uma maior produção requer um maior número de empregados. E, com um número de operários aumentando gradativamente, ficou impossível o supervisor controlar rigorosamente as operações individuais de cada trabalhador, como explica Ribeiro (2003).

De acordo com Ribeiro (2003), neste momento surge o chamado de Controle de Qualidade por Inspeção. Os inspetores faziam a verificação da qualidade dos produtos após determinadas operações e no final do processo. Havia padrões para serem comparados com os produtos. Se houvesse discrepâncias entre o padrão e o item do produto, os divergentes eram separados, enquanto os itens não conformes seriam retrabalhados e quando isso não fosse possível, descartados. Os primeiros grupos de qualidade eram os departamentos de inspeção. Durante a produção, os inspetores comparavam os produtos conforme especificações. Os departamentos de inspeção não possuíam uma plena independência; esses geralmente se reportavam ao departamento de fabricação cujas operações os mesmos fiscalizavam. Isso apresentava um choque de interesses, posto que o departamento de inspeção rejeitava uma enorme quantidade de produtos não-conformes e o departamento de fabricação queria aproveitar tais produtos para venda, independente da qualidade. Neste ambiente, a qualidade do produto melhorava muito lentamente.

Henry Ford, fundador da “Ford Motor Company”, desenvolveu o sistema fordista um aperfeiçoamento do Taylorismo, que se caracteriza por ser um método de produção em série. Em Detroit, Ford desenvolveu as linhas de montagens onde este colocava os veículos a serem produzidos sobre esteiras e passaria por todas as etapas de fabricação. O método de produção fordista permitiu que Ford produzisse mais de 2 milhões de carros por ano, durante a década de 1920. A desvantagem era que todos os veículos eram produzidos da mesma forma, com o mesmo modelo, ate mesmo da mesma cor.

4.3 Controle da qualidade

Ribeiro faz em seu livro Metrologia Industrial uma analise evolutiva do gerenciamento da qualidade. Este autor observa que os grupos de inspeção evoluíram para os departamentos de Controle da Qualidade (CQ) numa fase conhecida como Controle Estatístico da Qualidade, que foi criada pela necessidade surgida com a Segunda Guerra Mundial, já que a mesma requisitava produtos militares sem defeitos. A qualidade do produto era crucial para ganhar a guerra e isso somente seria garantido se o departamento de inspeção pudesse controlar os processos de produção. A inspeção total, geralmente impraticável, foi substituída pelos planos de amostragem, que foram aceitos e estudados.

Em vez de ser inspecionada nos produtos, a qualidade, definida como conformidade com a especificação, era controlada durante a produção. A responsabilidade pela qualidade foi transferida para um departamento independente (CQ), que era agora considerado o guardião da qualidade. O departamento CQ era separado da fabricação, para ter autonomia e independência.

Embora as condições fossem idéias para se explorar os benefícios do controle estatístico da qualidade, as indústrias americanas se mostraram preguiçosas e pouco interessadas com estas teorias relacionadas com qualidade. Foi o Japão, totalmente destruído pela guerra, que adotou um sistema de

qualidade diferenciado dos demais países, conhecido como Toyotismo. O país realizou rigorosos planos de controle de qualidade e se submeteu a programas intensivos de treinamento e educação.

4.4 Garantia da Qualidade

Na década de 1960, houve a evolução do controle da qualidade para Garantia da Qualidade (GQ). Ribeiro afirma que o setor de garantia da qualidade assegurava a qualidade do processo e do produto através de auditorias operacionais, treinamentos, análises técnicas, e é uma área funcional responsável pela inspeção dos produtos, calibração dos instrumentos, teste dos produtos e inspeção da matéria prima.

Os consultores de GQ atuavam nos departamentos onde realmente estava a responsabilidade pela qualidade. Neste período surgiu o conceito de Defeito Zero, que se baseava na obtenção de produtividade através do envolvimento do trabalhador. No Japão, surgiu o conceito de círculos de controle de qualidade, baseado no estilo participativo do gerenciamento. Este princípio assume que a produtividade irá aumentar através de um moral elevado e motivação, que são obtidos através de consulta e discussão em grupos informais.

4.5 Gerenciamento da Qualidade Total

Na década de 1970, quando o assunto qualidade se tornou mais crítico, GQ evolui para o Gerenciamento da Qualidade Total ou o gerenciamento da qualidade em toda a companhia. Os grupos de qualidade da companhia são menores, com mais autoridade e menor responsabilidade direta pela qualidade. Por exemplo, o grupo de qualidade tem autoridade para impedir a saída de um produto defeituoso da porta da fábrica, enquanto a responsabilidade do controle de qualidade atua no operador do departamento de fabricação. ISHIKAWA, em seu livro Controle de qualidade total: à maneira japonesa, aborda todos os conceitos e ideias dessa nova forma de gerenciamento da qualidade, posto que, foi um dos fundadores desta concepção no Japão.

A ideia de Gerenciamento Total da Qualidade surgiu no Japão, com fim da Segunda Guerra Mundial. O país, derrotado e com uma altíssima divida externa, encontrou-se forçado à busca a melhor maneira de se produzir, de forma que se gaste o menos possível. Além de possuir um mercado consumir deveras pequeno, a matéria-prima era escassa (a mesma devia ser exportada), sendo uma desvantagem com relação aos outros países.

A partir desse ponto as concepções de Taylor passam a ter menos relevância, uma vez que seu objetivo era resolver os problemas que resultam das relações entre os operários, como consequência modificam-se as relações humanas dentro da empresa. A idéia era: o bom operário não discute as ordens, nem as instruções, faz o que lhe mandam fazer. Além de serem inviáveis ao país naquele momento.

Como o Japão produziria para um mercado externo, seus produtos deviam ser mais baratos do que os dos demais países, e com uma qualidade superior, para que o consumidor optasse sempre pelos seus produtos. O resultado foi o Toyotismo, um sistema de produção que defende a idéia de qualidade com produtividade, gerando um aumento na produtividade na fabricação de pequenas quantidades de numerosos modelos de produtos, voltados para o mercado externo, com o objetivo de criar divisas tanto para a obtenção de matérias-primas e alimentos, quanto para importar os equipamentos e bens de capital necessários para a sua reconstrução pós-guerra e para o desenvolvimento da própria industrialização. Esse novo modo de pensar sofreu grande influência do engenheiro americano W. Edwards Deming, que atuou como consultor no Japão após a Segunda Guerra. Foi Deming que, argumentando com os industriais da nação quase em ruínas, difundiu a noção de que melhorar a qualidade não diminuiria a produtividade.

Não podia ocorrer erro. A qualidade agora está associada com cada indivíduo, envolvendo toda a organização, desenvolvendo e implantando uma ética e cultura de qualidade. O foco do programa é toda a companhia, não se limitando apenas em um departamento. É responsabilidade da pessoa que faz diretamente o trabalho, da recepcionista, da telefonista, do gerente que supervisiona os empregados, do instrumentista que mantém os instrumentos em operação, do responsável pela embalagem do produto. Cada elemento da organização contribui para o êxito ou boicote do esforço da qualidade. O comitê executivo define uma política realística, os gerentes estabelecem objetivos atingíveis, os engenheiros projetam produtos funcionais, confiáveis e atraentes, as recepcionistas são gentis e eficientes e os operadores fabricam um produto sem defeitos.

É de suma importância a verificação das necessidades exigidas pelo cliente, pois as mesmas mudam e a organização deve detectar essas variações e se adaptar para atendê-las. Uma forma de atrair a atenção dos clientes é dispor a ele uma infinidade de opções de um mesmo produto, variando a cor, o formato, o desenho, entre outros. Uma instituição deve produzir e entregar o que o cliente quer e não o que a instituição pensa que o cliente quer.

Em contra partida, o fordismo teve seu ápice no período posterior à Segunda Guerra Mundial, nas décadas de 1950 e 1960. A crise sofrida pelos Estados Unidos na década de 1970 foi considerada uma crise do próprio modelo, pois apresentava um declínio da produtividade e das margens de lucros.

A partir de meados da década de 1970, as empresas Toyotistas ostentavam a supremacia produtiva e econômica, que ao contrário do padrão norte-americano, produziam bens pequenos, que consumissem pouca energia e matéria-prima. Com o choque do petróleo e a consequente queda no padrão de consumo, os países passaram a demandar uma série de produtos que não tinham capacidade, e, a princípio, nem interesse em produzir, o que favoreceu o cenário para as empresas japonesas Toyotistas. A razão para esse fato é que devido à crise, o aumento da produtividade, embora continuasse importante, perdeu espaço para fatores tais como a qualidade e a diversidade de produtos para melhor atendimento dos consumidores.

5. CONCLUSÃO

Vale destacar alguns aspectos que possam ter passados despercebidos, como o fato de o primeiro nome no quesito qualidade no Japão seja de um americano (W. Edwards Deming). No entanto, as ideias de Deming foram rejeitadas pelas firmas americanas logo após o fim da segunda guerra mundial. Já que tudo que produziam era vendido, nada fizeram com relação à qualidade. Com a entrada dos produtos japoneses no mercado, e estes se tornando a preferência dos consumidores, o mercado americano se preocupou em adotar o sistema de qualidade total.

Em relação à administração de uma empresa, Deming enfatiza o gerenciamento. Grande parte dos problemas desenvolvidos em uma indústria pode ser resolvida se for realizado um programa de gerenciamento.

A qualidade é essencial na sociedade vigente, de forma que é necessária uma atenção especifica para tal área. Com isso, foram criadas normas para serem seguidas pelas indústrias ou qualquer instituição que desenvolva produtos ou serviços à sociedade. Auditorias são realizadas para verificar se tais padrões de organizações estão sendo seguidos. As organizações que estiveram de acordo com as normas pré-determinadas serão devidamente credenciadas, gerando assim uma maior confiabilidade nos seus produtos e serviços.

REFERÊNCIAS BILIOGRÁFICA

CAMPOS, Vicente Falconi. TQC - Controle da Qualidade Total no estilo japonês. Belo Horizonte Fundação de Desenvolvimento Gerencial. 1999.

EVANS, J. R; Lindsay, W. M. The Management and Control of Quality. Cincinnati, Ohio, South-Western College Publishing. 1999.

FEIGENBAUM, A. V. Controle da Qualidade Total. Estratégias para o Gerenciamento e Tecnologia da Qualidade, São Paulo Makron Books 4 v. 1994.

ISHIKAWA, K. Controle de qualidade total: à maneira japonesa. 1915. 5ª reimpressão. Tradução de Iliana Torres. Rio de Janeiro- 1997.

JURAN, J. M.; Gryna, F. M. Controle da Qualidade Handbook. Conceitos, Políticas e Filosofia da Qualidade. São Paulo Makron Books 9 v. 1991.

RIBEIRO, M. A. Metrologia Industrial: fundamentos da confirmação metrológica. 5ª edição (revista). Salvador, BA. Última revisão em 2003.

TOLEDO, J. C. Qualidade Industrial: conceitos, sistemas e estratégias. São Paulo. Atlas. 1987

<http://www.geomundo.com.br/geografia>Acesso em: 26/08/2011

<http://www.uel.br/erika_batista>Acesso em: 26/08/2011

FORMULAÇÃO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS DE CONTORNO APLICADO A BARRA RETANGULAR

Alisson Augusto Azevedo Figueiredo[1]; André Pereira Santana[2]; Helio Vitor Cantanhêde da Silva[3]; Clarianne Natali de Campos[4]; Flavio Nunes Pereira[5]

[1]Instituto Federal do Maranhão - Campus Monte Castelo – alissonfigueiredo@hotmail.com.br
[2]Instituto Federal do Maranhão - Campus Monte Castelo – andre@ifma.edu.br
[3]Instituto Federal do Maranhão - Campus Monte Castelo – heliovitorcantanhede@gmail.com
[4]Instituto Federal do Maranhão - Campus Monte Castelo – clara_natali@hotmail.com
[5]Instituto Federal do Maranhão - Campus Imperatriz – flavio.brmecn@yahoo.com

RESUMO

Este trabalho aborda o estudo da deformação axial em barras retangulares isotrópicas e homogêneas, através do método dos elementos de contorno. O estudo consiste na implementação de um programa, em linguagem Matlab e simulação utilizando o ANSYS (Software que produz simulações para engenharia) para o cálculo da deformação axial em barras para problemas estaticamente determinados. A formulação do método dos elementos de contorno é desenvolvida utilizando soluções fundamentais a partir de equações já conhecidas e presentes em várias literaturas, na discretização do contorno usamos elemento constante. O problema estudado será desenvolvido de forma unidimensional. Os resultados obtidos após implementação do programa, foram comparados com as soluções analíticas do mesmo problema para que fosse possível a comprovação da eficácia e facilidade na resolução de tal problema através do método dos elementos de contorno.

Palavras-chave: deformação axial, barras, método dos elementos de contorno, isotrópico

1. INTRODUÇÃO

Uma importante ferramenta de projeto atualmente que tem se demonstrado muito eficaz e auxiliado grandemente os engenheiros são as simulações computacionais, uma vez que através delas, podem ser analisadas o comportamento de diversos fenômenos físicos conhecidos, como de tensões e deformações no cálculo para barras, análises térmicas no estudo de transferência de calor, no estudo do eletromagnetismo, escoamento de fluidos, entre outros. Essa análise via método numérico é fundamental, pois é comum vermos projetos cada vez mais complexos e arrojados e sendo que todo projeto deve ter uma prévia simulação para observar a validade do mesmo, é essencial fazer isso no menor tempo possível e preferencialmente com o menor custo o que dependeria de menos transtorno na execução e na detecção de possíveis problemas. Sendo que vários dos fenômenos físicos acarretam em equações diferenciais parciais e na prática a maioria não apresenta soluções analíticas, por isso é comum usar o método numérico por apresentar soluções que se aproximam dos resultados das equações governantes se fossem resolvidos por um método analítico. É apresentado neste trabalho técnicas de métodos numéricos para a solução de problemas envolvendo barras e dentre as principais técnicas por apresentar suas formulações já consolidadas temos dentre os principais: O método da diferenças finitas, método dos elementos finitos e o método dos elementos de contorno.

O método dos elementos de contorno tem a vantagem em relação a outras técnicas, pois apresentam incógnitas apenas em pontos de contorno o que acarreta na diminuição da dimensão do problema, portanto em uma maior facilidade de se trabalhar com dados no computador por tratar com um conjunto reduzido de equações. Para esse método são usados na discretização do contorno os elementos constantes, os mais simples, também poderíamos discretizar em elementos lineares, quadráticos e cúbicos, esses elementos têm por finalidade aumentar a quantidade de pontos analisados no contorno.

Portanto, para o problema apresentado neste trabalho, é proposto o desenvolvimento de uma ferramenta em linguagem Matlab para análise numérica computacional de deformações axiais em barras, baseada no método dos elementos de contorno. Assim como a simulação da deformação axial ao longo do comprimento da barra utilizando o software ANSYS.

2. DEFORMAÇÃO AXIAL EM BARRA

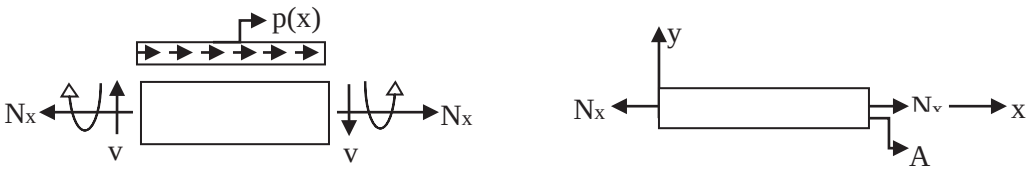


Figura 1 - Convenção da direção e sentido das forças pela Resistência dos Materiais

Sabendo que a tensão na barra (ver Figura 1) é dada pela razão da força exercida no eixo x e a área da seção transversal da barra, temos:

$$\tau_{xx} = \frac{N_x(x)}{A(x)} \qquad \text{[Eq. 1]}$$

Para materiais elásticos lineares, de acordo com a lei de Hooke, onde E é o modulo de elasticidade, temos:

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\tau_{xx}}{E} \qquad \text{[Eq. 2]}$$

A deformação elástica unitária pode ser dada também pela equação diferencial governante para barras axialmente carregadas. Sendo dU a deformação axial do elemento infinitesimal.

$$\frac{dU(x)}{dx} = \varepsilon_{xx} \qquad \text{[Eq. 3]}$$

Fazendo [Eq. 3] em [Eq. 2]:

$$\frac{dU(x)}{dx} = \frac{\tau_{xx}}{E} \qquad \text{[Eq. 4]}$$

Fazendo [Eq. 1] em [Eq. 4]:

$$\frac{dU(x)}{dx} = \frac{N_x(x)}{E \cdot A(x)} \Longrightarrow \quad N_x(x) = E \cdot A(x) \cdot \frac{dU(x)}{dx} \qquad \text{[Eq. 5]}$$

Fazendo um balanço do diferencial da força exercida no eixo x com a carga distribuída, temos:

$$\frac{dN_x(x)}{dx} = -p(x) \qquad \text{[Eq. 6]}$$

Fazendo [Eq. 5] em [Eq. 6]:

$$\frac{d}{dx}\left[E \cdot A(x) \cdot \frac{dU(x)}{dx}\right] = -p(x) \Longrightarrow \quad E \cdot \frac{dA(x)}{dx} \cdot \frac{d^2U(x)}{dx^2} = -p(x) \qquad \text{[Eq. 7]}$$

Para AE = cte:

$$E \cdot A \cdot \frac{d^2U(x)}{dx^2} = -p(x) \qquad \text{[Eq. 8]}$$

Aplicando o método dos resíduos ponderados:

$$A \cdot E \cdot \frac{d^2U(x)}{dx^2} = -p(x) \Longrightarrow \quad A \cdot E \cdot \frac{d^2U(x)}{dx^2} + p(x) = 0 \qquad \text{[Eq. 9]}$$

Sendo $\overline{U}(x) \cong U(x)$, então:

$$A \cdot E \cdot \frac{d^2\overline{U}(x)}{dx^2} + p(x) \cong 0 \qquad \text{[Eq. 9.1]}$$

Em nosso problema iremos integrar a equação anterior por toda a dimensão da barra estudada:

$$\int\left[A\cdot E\cdot\frac{d^2\overline{U}(x)}{dx^2}+p(x)\right]d(x)=0\Longrightarrow\int_{x=0}^{x=L}\left[A\cdot E\cdot\frac{d^2U(x)}{dx^2}+p(x)\right]\cdot U^*(x)d(x)=0 \qquad \text{[Eq. 10]}$$

Equação de resíduos ponderados para barras

Sendo que U*(x) é uma função ponderada (conhecida). Realizando a integração por partes em 1D (uma dimensão) da [Eq. 10], temos:

$$\underbrace{\int_\Omega A\cdot E\cdot\frac{d^2U(x)}{dx^2}\cdot U^*(x)d(x)}_{[A]}+\underbrace{\int_\Omega p(x)\cdot U^*(x)d(x)}_{[B]}=0 \qquad \text{[Eq. 11]}$$

De [A] temos:

$$\int_0^L A\cdot E\cdot\frac{d}{dx}\left[\frac{dU(x)}{dx}\right]U^*(x)d(x)=\left\{\left[\frac{dU(x)}{dx}\cdot U^*(x)\right]_0^L-\underbrace{\int_0^L\frac{dU(x)}{dx}\cdot\frac{dU^*(x)}{dx}d(x)}_{[C]}\right\}\cdot A\cdot E \qquad \text{[Eq.12]}$$

De [C] temos:

$$\int_0^L\frac{dU(x)}{dx}\cdot\frac{dU^*(x)}{dx}d(x)=\left[U(x)\cdot\frac{dU^*(x)}{dx}\right]_0^L-\int_0^L U(x)\cdot\frac{d^2U^*(x)}{dx^2}d(x) \qquad \text{[Eq. 13]}$$

Fazendo [Eq. 13] em [Eq. 12]:

$$\int_0^L A\cdot E\cdot\frac{d}{dx}\left[\frac{dU(x)}{dx}\right]U^*(x)d(x)=\left[AE\cdot\frac{dU(x)}{dx}\cdot U^*(x)\right]_0^L-\left[AE\cdot U(x)\cdot\frac{dU^*(x)}{dx}\right]_0^L+\int_0^L AE\cdot U(x)\cdot\frac{d^2U^*(x)}{dx^2}d(x)$$

[Eq. 14]

Substituindo a [Eq. 14] na [Eq. 11], temos:

$$\int_0^L AE\cdot U(x)\cdot\frac{d^2U^*(x)}{dx^2}d(x)+\left[AE\cdot\frac{dU(x)}{dx}\cdot U^*(x)\right]_0^L-\left[AE\cdot U(x)\cdot\frac{dU^*(x)}{dx}\right]_0^L+\int_0^L p(x)\cdot U^*(x)d(x)=0$$

[Eq. 15]

Reescrevendo a [Eq. 14], temos:

$$\int_0^L A\cdot E\cdot\frac{d}{dx}\left[\frac{dU(x)}{dx}\right]U^*(x)d(x)-\int_0^L AE\cdot U(x)\cdot\frac{d^2U^*(x)}{dx^2}d(x)=\left[AE\cdot\frac{dU(x)}{dx}\cdot U^*(x)\right]_0^L-\left[AE\cdot U(x)\cdot\frac{dU^*(x)}{dx}\right]_0^L \quad \text{[Eq. 16]}$$

Fazendo uma analogia com a segunda identidade de Green, temos:

$$\int_\Omega \nabla^2U(x)\cdot U^*(x)d\Omega-\int_\Omega U(x)\cdot\nabla^2U^*(x)d\Omega=\int_\Gamma \nabla U(x)\circ\vec{n}U^*(x)d\Gamma-\int_\Gamma U(x)\nabla U^*(x)\circ\vec{n}\,d\Gamma \quad \text{[Eq. 16.1]}$$

Obs.: $\frac{U(x)}{U^*(x)}$ (Relação de reciprocidade entre dois estados)

Tendo como base a [Eq. 05], teremos de forma distinta:

$$AE\cdot\frac{dU(x)}{dx}=N_x(x) \quad \text{[Eq. 17]}$$

$$AE\cdot\frac{dU^*(x)}{dx}=N_x^*(x) \quad \text{[Eq. 18]}$$

$$AE\cdot\frac{d^2U^*(x)}{dx^2}=-\delta(x-x_c) \quad \text{[Eq. 18.1]}$$

Sendo δ (delta de Dirac), x_c (ponto de aplicação) e x (ponto onde determinado).

2.1 Barra sem condições de contorno:

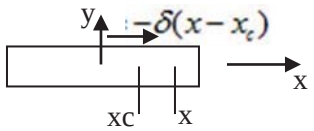


Figura 2 - Demonstração de uma barra, onde xc é o ponto de aplicação e x é o ponto onde quer se determinar a deformação

Observação: O problema proposto neste trabalho irá trabalhar apenas com elemento constante no contorno, ou seja, apenas um ponto por elemento. Resta ainda o trabalho com elementos lineares e quadráticos, que poderão ser estudados posteriormente,

Solução Fundamental da barra:

$$U^*(x,x_c)=\frac{1}{AE}\cdot\begin{Bmatrix}(1-x_c)x+1 & ;x<x_c\\ (1-x)x_c+1 & ;x>x_c\end{Bmatrix} \quad \text{[Eq. 20]}$$

$$AE \cdot \frac{dU^*(x,xc)}{dx} = N_x^*(x,x_c) = \begin{Bmatrix} (1-x_c) & ;x < x_c \\ -x_c & ;x > x_c \end{Bmatrix} \quad \text{[Eq. 21]}$$

Propriedades do Delta de Dirac:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(x-x_c)dx = 1 \quad \text{[Eq. 22]}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(a)\cdot\delta(x-x_c)dx = f(x_c) \quad \text{[Eq. 23]}$$

2.1 Equação Integral para a barra:

Partindo da [Eq. 15] (Apenas o 1ª termo):

$$\int_0^L U(x)\cdot AE\cdot\frac{d^2U^*(x)}{dx^2}d(x) = \int_0^L U(x)\left[-\delta(x-x_c)\right]d(x) = -\int_0^L U(x)\cdot\delta(x-x_c)d(x) \quad \text{[Eq. 24]}$$

Da [Eq. 23], temos:

$$-\int_0^L U(x)\cdot\delta(x-x_c)d(x) = -U(x_c) \quad \text{[Eq. 25]}$$

Substituindo [Eq. 25] na [Eq. 15]:

$$U(x_c) = \left[AE\cdot\frac{dU(x)}{dx}\cdot U^*(x)\right]_0^L - \left[AE\cdot U(x)\cdot\frac{dU^*(x)}{dx}\right]_0^L + \int_0^L p(x)\cdot U^*(x)d(x) \quad \text{[Eq. 26]}$$

Substituindo os termos na [Eq. 26], temos finalmente a equação integral de contorno que irá determinar as incógnitas do problema.

$$U(x_c) = \left[N_x(x)\cdot U^*(x,x_c)\right]_0^L - \left[U(x)\cdot N_x^*(x,x_c)\right]_0^L + \int_0^L p(x)\cdot U^*(x)d(x) \quad \text{[Eq. 27]}$$

3. METODOLOGIA

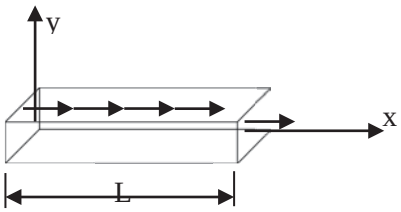


Figura 3 - Exemplo de um problema de carregamento axial em barra

Condições de contorno do problema:

$$U(0)=0 \qquad U(L)=? \qquad N_x(0)=? \qquad N_x(L)=F_{AB}$$

Fazendo:

$$U(x)=U(x_c)$$

E analisando a [Eq. 27] nos extremos:

$$U(x_C)=\left[N_X(x=L)\cdot U^*(x=L,x_C)\right]-\left[N_X(x=0)\cdot U^*(x=0,x_C)\right]-\left[U(x=L)\cdot N_x^*(x=L,x_c)\right]+\left[U(x=0)\cdot N_x^*(x=0,x_C)\right]+b(x_C)$$

$$x_C\to 0 \Rightarrow U(x_C\to 0)=$$

$$\left[N_X(x=L)\cdot U^*(x=L,x_C\to 0)\right]-\left[N_X(x=0)\cdot U^*(x=0,x_C\to 0)\right]-\left[U(x=L)\cdot N^*{}_x(x=L,x_c\to 0)\right]+\left[U(x=0)\cdot N^*{}_x(x=0,x_C\to 0)\right]+b(x_C\to 0)$$

$$x_C\to L \Rightarrow U(x_C\to L)=$$

$$\left[N_X(x=L)\cdot U^*(x=L,x_C\to L)\right]-\left[N_X(x=0)\cdot U^*(x=0,x_C\to L)\right]-\left[U(x=L)\cdot N^*{}_x(x=L,x_C\to L)\right]+\left[U(x=0)\cdot N^*{}_x(x=0,x_C\to L)\right]+b(x_C\to L)$$

Colocando na forma matricial:

$$[H]\{U\}=[G]\{F\}+\{b\} \qquad \text{[Eq. 28]}$$

$$\begin{bmatrix}1-N^*{}_x(x=0,x_c\to 0) & N^*{}_x(x=L,x_c\to 0)\\ -N^*{}_x(x=0,x_c\to L) & N^*{}_x(x=L,x_c\to L)\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}U(0)\\U(L)\end{Bmatrix}=\begin{bmatrix}-U^*(x=0,x_c\to 0) & U^*(x=L,x_c\to 0)\\ -U^*(x=0,x_c\to L) & U^*(x=L,x_c\to L)\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}N_x(0)\\N_x(L)\end{Bmatrix}+\begin{Bmatrix}b(x_C=0)=b_0\\ b(x_C=L)=b_L\end{Bmatrix}$$

[Eq. 29]

$$\begin{bmatrix}H_{11} & H_{12}\\ H_{21} & H_{22}\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}U(0)\\U(L)\end{Bmatrix}=\begin{bmatrix}G_{11} & G_{12}\\ G_{21} & G_{22}\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}N_x(0)\\N_x(L)\end{Bmatrix}+\begin{Bmatrix}b(x_C=0)=b_0\\ b(x_C=L)=b_L\end{Bmatrix} \qquad \text{[Eq. 30]}$$

“Relação de Reciprocidade no contorno”, conhecidos Hij, Gij e bi.

Lembrando da solução fundamental [Eq. 20] e [Eq. 21].

$$U^*(x,x_c)=\frac{1}{AE}\cdot\begin{Bmatrix}(1-x_c)x+1 & ;x<x_c\\ (1-x)x_c+1 & ;x>x_c\end{Bmatrix} \qquad \text{[Eq. 20]}$$

$$AE\cdot\frac{dU^*(x,xc)}{dx}=N_x^*(x,x_c)=\begin{Bmatrix}(1-x_c) & ;x<x_c\\ -x_c & ;x>x_c\end{Bmatrix} \qquad \text{[Eq. 21]}$$

Organizando a [Eq. 29], sendo $N_x(0)$ e U(L) as incógnitas do problema:

$$\begin{bmatrix}-G_{11} & H_{12}\\ -G_{21} & H_{22}\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}N_x(0)\\ U(L)\end{Bmatrix}=\begin{bmatrix}-H_{11} & G_{12}\\ -H_{21} & G_{22}\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}U(0)\\ N_x(L)\end{Bmatrix}+\begin{Bmatrix}b_0\\ b_L\end{Bmatrix} \qquad \text{[Eq. 31]}$$

Substituindo as expressões encontradas a partir das soluções fundamentais na [Eq. 31], temos:

$$\begin{bmatrix}\frac{1}{AE} & 0\\ -\frac{1}{AE} & 1-L\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}N_x(0)\\ U(L)\end{Bmatrix}=\begin{bmatrix}0 & \frac{1}{AE}\\ 1-L & \frac{1}{AE}\left[(1-L)^2+1\right]\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}0\\ F_{AB}\end{Bmatrix}+\begin{Bmatrix}b_0\\ b_L\end{Bmatrix} \qquad \text{[Eq. 32]}$$

Tabela 1 - Convenção de sinais da resistência dos materiais

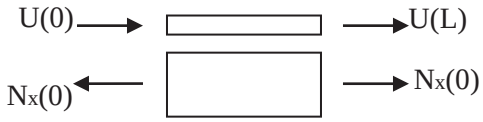
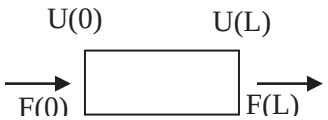
Resistência dos Materiais	MEC Estrutural (Global)
	

Tabela 2 - Relações

Resistência dos Materiais	MEC Estrutural (Global)
U(0)	U(0)
U(L)	U(L)
$N_x(0)$	- F(0)
$N_x(L)$	F(L)

4. RESULTADOS

Utilizando um problema do Hibbeler (2009), onde uma barra retangular de aço A-36 está sujeita a uma força axial (ver Figura 4). Determinaremos o valor da sua deformação através da equação de contorno obtida neste trabalho. Sabendo que o coeficiente de elasticidade para o aço A-36 é E = 200GPa e que a área da seção transversal é A = 0.005 m².

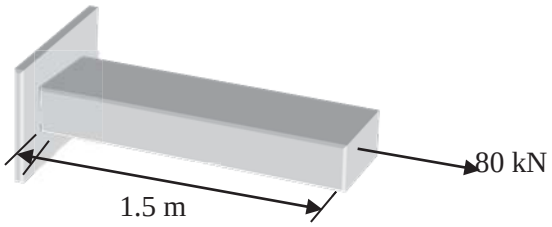


Figura 4 - Problema 3.4 do Hibbeler (2009)

Realizando a convenção de sinais para o MEC estrutural e utilizando a equação de contorno para barras [Eq. 27] com o programa feito em linguagem Matlab para achar a solução do problema. A comparação (ver Tabela 3) feita com a solução analítica do livro citado e a solução numérica:

Tabela 3 – Comparação (Solução Analítica x Solução Numérica)

	Solução Analítica	Solução Numérica
Deformação Axial	120 μm	120 μm

Realizando a simulação no ANSYS (ver figura 5), podemos demonstrar como ocorre está deformação (ver Tabela 4) ao longo do comprimento da barra tracionada.

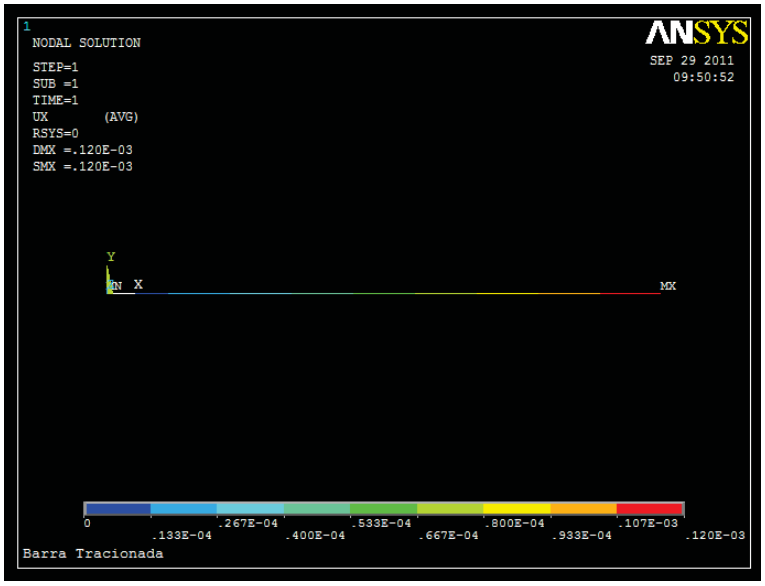


Figura 5 – Deformação ao longo da barra (utilizando o ANSYS)

Tabela 4 – Valores da deformação ao longo da barra (Iniciando no ponto engastado até o final do comprimento)

Nós	Deformação
1	0
2	24 μm
3	48 μm
4	72 μm
5	96 μm
6	120 μm

5. CONCLUSÃO

Após termos deduzido a equação de contorno para barras, mostrado a metodologia para a resolução do problema em 1D (uma dimensão) e implementado o programa no Matlab e simulado a deformação no ANSYS. Chegamos a comparação entre o resultado analítico e numérico, e análise da deformação ao longo da barra. Então, podemos facilmente afirmar que os resultados mostraram o mesmo valor (tanto o analítico quanto o numérico), e que a simulação da deformação utilizando o ANSYS mostrou que a barra tem sua deformação axial é máxima no ponto de aplicação da força e diminui à medida que se afasta do mesmo. Portanto constata-se que o método dos elementos de contorno para a identificação da deformação axial em barras (em 1D) mostrou-se eficaz.

6. REFERÊNCIAS

BEER, G., SMITH, I.M. and DUENSER, C., 2008. **"The Boundary Element Method with programming: for Engineers and Scientists"**. 1th ed. New York: Springer Wien.

BREBBIA, C.A; DOMINGUES, J., 1989. **Boundary Elements: An Introductory Course**. 2nd ed. Southampton: Computational Mechanics Publications.

KANE, J.H., 1994. **Boundary Element Analisys in Engineering Continuum Mechanics**. New Jersey: Prentice Hall.

KATSIKADELIS, J.T., 2002. **Boundary Elements: theory and applications**. 1th ed. Amsterdan: Elsevier.

Paiva, J.B., 1987. **Formulação do método dos elementos de contorno para flexão de placas e suas aplicações em engenharia de estruturas**. 195 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas), Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo.

Timoshenko, S.P.; Goodier, J.N., 1970. **Teoria da Elasticidade**. Tradução: Sérgio Fernandes Villaça, Humberto Lima Soriano, Hierônimo Santos Souza. 3 ed. Rio de Janeiro, RJ: McGraw-Hill.

HIBBELER, R. C., 2009. **Resistência dos Materiais**. 7 ed. Rio de Janeiro: Pearson Education-Br.

FORMULAÇÃO REGULAR E SINGULAR USANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS DE CONTORNO

A. P. SANTANA[1], C. N. CAMPOS[2], H. V. C. SILVA[3], A. A. A. FIGUEIREDO[4]
Instituto Federal do Maranhão – Campus Monte Castelo
[1]andre@ifma.edu.br - [2]clarianne.campos@ifma.edu.br – [3]heliovick@hotmail.com –
[4]alissonfigueiredo@hotmail.com.br

RESUMO

Este trabalho propõe a análise do método dos elementos de contorno para o tratamento de problema de flexão de placas finas empregando a teoria de Kircchoff. São utilizadas duas formulações: a formulação regular e a formulação singular. A primeira utiliza a equação integral tomando o ponto fonte fora do contorno e as integrais são calculadas numericamente. A segunda aplica a equação integral para o ponto fonte no contorno e as integrais singulares são calculadas analiticamente. As equações integrais são discretizadas utilizando-se o elemento constante, desse modo, transformam-se em equações algébricas. Após a montagem do sistema algébrico de equações foi analisada a variação da resposta para diferentes posições do ponto fonte, para a formulação regular, em seguida comparamos os resultados com a respectiva formulação singular e com os resultados analíticos ou numéricos encontrados na literatura a fim de verificar a eficiência do método utilizado.

Palavras-chave: Elementos de contorno, singularidades, placa.

1. INTRODUÇÃO

O método dos elementos de contorno teve seu desenvolvimento depois que os chamados métodos de domínio, diferenças finitas e elementos finitos, já tinham suas formulações consolidadas e com vasto campo de aplicações. O que permitiu que o método dos elementos de contorno (MEC) ganhasse destaque foi o fato de possuir incógnitas apenas em pontos encontrados no contorno , ao contrário dos métodos anteriores, que além de utilizarem pontos do contorno, também faziam uso de pontos do domínio. Suas principais características mostradas desde as primeiras formulações são: a diminuição da ordem do sistema de equações lineares a serem resolvidas, a redução e simplificação dos dados de entrada, além da possibilidade de ser utilizado em domínios infinitos.

Na formulação do MEC têm-se duas alternativas de análise, uma trata da formulação singular e a outra da formulação regular (KANE, 1994). Na primeira o ponto fonte é colocado diretamente sobre o contorno da placa, produzindo com isso, integrais com singularidades do tipo $\frac{1}{r}$ e $\frac{1}{r^2}$, pois nesse caso $r = 0$. Assim, são necessárias técnicas especiais de integração para o tratamento dessas singularidades. No segundo caso, o ponto fonte é colocado a uma determinada distância d do contorno fora do domínio da placa, $r \neq 0$, desse modo não há mais singularidades e as integrais são calculadas por um método numérico. Contudo, ao colocarmos os pontos externos ao contorno, temos um conjunto de infinitas posições possíveis. Dessa forma, analisamos qual o comportamento da resposta do problema a variações na posição do ponto fonte, assim, comparamos os resultados com a correspondente formulação singular e com aqueles encontrados na literatura.

2. METODOLOGIA

2.1 Teoria da flexão para placas isotrópicas finas

Segundo Paiva (1987), as placas são elementos estruturais limitadas por duas superfícies planas e paralelas, sendo a distância entre elas designada espessura. No caso da dimensão da espessura ser muito menor que as dimensões das superfícies planas limitantes, as placas são denominadas finas. O fato de a espessura ser pequena permite que se introduzam simplificações na formulação dos problemas de placas. O plano equidistante das superfícies planas externas é designado por plano médio da placa. Considerando as propriedades do material, uma placa pode ser anisotrópica, com diferentes propriedades em diferentes direções, ou isotrópica, com propriedades iguais em todas as direções.

2.2 Equações básicas da teoria da elasticidade linear

Para a formulação das equações de placas utilizam-se alguns conceitos e equações básicas da teoria da elasticidade linear. A dedução matemática para obtenção dessas equações pode ser encontrada em Timoshenko (1970). Considere-se um elemento infinitesimal de dimensões dx , dy e dz de um corpo elástico e submetido a um estado geral de tensões, conforme ilustra a Figura 1.

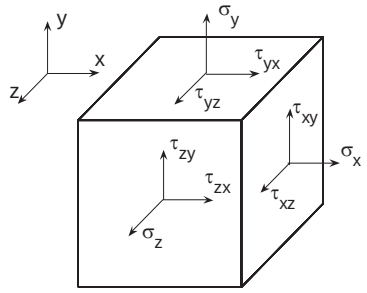


Figura 1 - Estado geral de tensões

Se o corpo sofre uma deformação e $\mathbf{u}$, $\mathbf{v}$ e $\mathbf{w}$ são as funções que descrevem os deslocamentos do corpo nas direções $\mathbf{x}$, $\mathbf{y}$ e $\mathbf{z}$, respectivamente, tem-se as seguintes relações para as componentes de deformação:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \qquad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} \qquad \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z} \qquad \text{[Eq. 01]}$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \qquad \gamma_{xz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \qquad \gamma_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}$$

A relação entre as componentes de tensão e deformação é chamada lei de Hooke, que para materiais isotrópicos é dada por:

$$\sigma_z = \frac{E}{(1-\nu^2)}[\varepsilon_z + \nu(\varepsilon_x + \varepsilon_y)]$$
$$\sigma_y = \frac{E}{(1-\nu^2)}\left[\varepsilon_y + \nu(\varepsilon_x + \varepsilon_z)\right] \qquad \text{[Eq. 02]}$$
$$\sigma_z = \frac{E}{(1-\nu^2)}\left[\varepsilon_z + \nu\left(\varepsilon_x + \varepsilon_y\right)\right]$$
$$\tau_{xy} = \frac{\gamma_{xy}}{G} \qquad \tau_{yz} = \frac{\gamma_{yz}}{G} \qquad \tau_{xz} = \frac{\gamma_{xz}}{G}$$

Onde:

$\mathbf{E}$ é o módulo de elasticidade, ν é o coeficiente de Poisson e $\mathbf{G}$ é o módulo de elasticidade transversal, o qual se relaciona com $\mathbf{E}$ e ν como:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \qquad \text{[Eq. 03]}$$

Considerando o elemento diferencial, sob o seu estado de tensão, para descrever as tensões normais agindo nas seis faces do elemento são necessários três símbolos σ_x, σ_y e σ_z, enquanto que para as tensões cisalhantes seis símbolos são necessários τ_{xy}, τ_{yx}, τ_{xz}, τ_{zx}, τ_{yz} e τ_{zy}. Segundo Timoshenko (1970), por simples consideração do equilíbrio do elemento, o número de símbolos para as tensões cisalhantes pode ser

reduzido para três, pois:

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} \qquad \tau_{zx} = \tau_{xz} \qquad \tau_{zy} = \tau_{yz} \qquad \text{[Eq. 04]}$$

Assim, as seis quantidades σ_x, σ_y, σ_z, τ_{xy}, τ_{xz} e τ_{zy} são suficientes para descrever as tensões atuantes nos planos coordenados em um ponto, elas são chamadas componentes de tensão no ponto.

2.3 Hipóteses de Kircchoff para placas finas

Para se escreverem as equações diferenciais considera-se que o material de que é feito a placa é elástico linear e os deslocamentos transversais são pequenos quando comparados com a espessura t da placa. Nessas condições as hipóteses de Kircchoff que são consideradas válidas para placas finas e submetidas a ações normais ao seu plano médio são:

1) a superfície média da placa é indeformável, ou seja, as deformações no plano xy são nulas:
   - $\varepsilon_x = \varepsilon_y = \gamma_{xy} = 0$ para $z = 0$;
2) os pontos pertencentes à normal ao plano médio da placa antes da deformação permanecem na normal à superfície média fletida.
3) a tensão na direção normal ao plano médio, σ_z é irrelevante quando comparada com as tensões σ_x e σ_y pelo que se considera:
   - $\sigma_z = 0$

2.4 Relações básicas para placas finas

2.4.1 Deformações e tensões

Tendo em conta a hipótese 2 de Kirchhoff os deslocamentos u e v, nas direções x e y, respectivamente, de um ponto P da placa situado a uma distância z do plano médio, podem ser calculados a partir do deslocamento $w(x, y)$ do ponto contido no plano médio da placa, conforme ilustra a Figura 2.

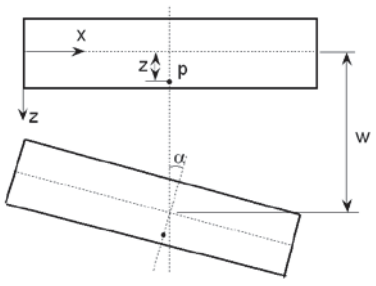


Figura 2 - Deslocamento do ponto P para uma deformação da placa.

Assim, para o deslocamento de P na direção x, temos:

[Eq. 05]

$$\mu = -z \tan \alpha$$

Mas, $\tan \alpha$ é o coeficiente angular da reta tangente ao ponto da superfície média fletida, então:

$$u = -z \frac{\partial w}{\partial x} \quad \text{[Eq. 06]}$$

De forma análoga obtemos para o deslocamento na direção y :

$$v = -z \frac{\partial w}{\partial y} \quad \text{[Eq. 07]}$$

Assim, tomando as relações da elasticidade encontramos as componentes de deformação escritas em função do deslocamento transversal w .

$$\varepsilon_x = -z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad \text{[Eq. 08]}$$

$$\varepsilon_y = -z \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \quad \text{[Eq. 09]}$$

$$\gamma_{xy} = -2z \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad \text{[Eq. 10]}$$

Observamos que pelo campo de deslocamento obtido que as tensões de cisalhamento, τ_{xz} e τ_{yz} são nulas. Essa, portanto, é uma consequência das hipóteses de Kircchoff, ou seja, as tensões de cisalhamento transversais são desprezadas.
Com as relações [Eq.08] a [Eq. 10] e pela lei de Hooke [Eq. 02], encontramos as tensões:

$$\sigma_x = -\frac{E}{(1-\nu^2)}\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right) z \quad \text{[Eq. 11]}$$

$$\sigma_y = -\frac{E}{(1-\nu^2)}\left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right) z \quad \text{[Eq. 12]}$$

$$\tau_{xy} = -2G \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} z \quad \text{[Eq. 13]}$$

As tensões σ_x, σ_y e τ_{xy} variam linearmente ao longo do eixo z , sendo nulas para $z = 0$, conforme seria de se esperar tendo em conta a hipótese de Kirchhoff 1.

2.5 Solução fundamental de placas

Todo o trabalho realizado com a aplicação de equações diferenciais, exije o uso de soluções fundamentais.Entendendo-se essas como a resposta em um ponto genérico P de um domínio infinito, denominado domínio fundamental, devido à aplicação de uma carga unitária em outro ponto do domínio. No caso particular de placas, a solução fundamental é o deslocamento transversal w em um ponto P qualquer de coordenadas $[x(P), y(P)]$, denominado ponto de deslocamento, ou

também chamado ponto campo, devido a uma carga unitária aplicada em $[x(Q), y(Q)]$, denominado ponto de carregamento ou ponto fonte.

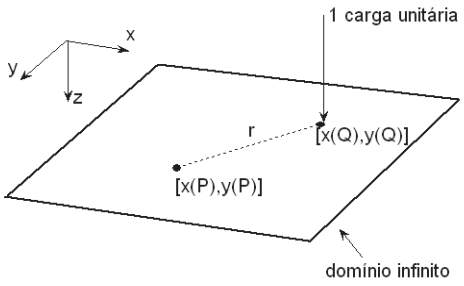


Figura 3 - Carga unitária aplicada no ponto Q de um domínio infinito.

2.5.1 Solução fundamental

Considerando a equação diferencial de placas (PAIVA, 1987), a solução fundamental é a solução desta equação quando aplicamos como carregamento a função delta de a Dirac no domínio fundamental, ou seja:

$$\frac{\partial^4 w^*}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4 w^*}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w^*}{\partial y^4} = \frac{\delta[x(P) - x(Q), y(P) - y(Q)]}{D} \qquad \text{[Eq.14]}$$

Em que o símbolo * denota que a função é uma solução fundamental. Paiva (1987) deduz a solução da equação diferencial [Eq. 18], obtendo a seguinte expressão:

$$w^* = \frac{1}{8\pi D} r^2 \left(\ln r - \frac{1}{2}\right) \qquad \text{[Eq. 15]}$$

A partir da equação [Eq. 15] e demais equações, cujas deduções podem ser encontradas em Paiva, obtém-se as expressões para a rotação e esforços em um ponto genérico P do domínio fundamental em relação a um sistema de coordenadas qualquer (n, s) com origem no ponto P, Figura 4. Esse sistema, adiante, será tomado como aquele que é tangente e normal ao contorno da placa na formulação das equações integrais. Desse modo, mostra-se que:

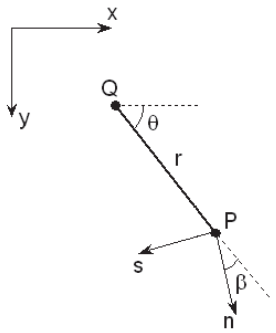


Figura 4 - Sistema de coordenadas n e s com origem no ponto campo P.

$$\frac{\partial w^*}{\partial n} = \frac{1}{4\pi D} r(\ln r)\cos\beta \qquad \text{[Eq. 16]}$$

$$m_n^* = -\frac{1}{4\pi}[(1+\nu)\ln r + (1-\nu)\cos^2\beta + \nu] \quad \text{[Eq. 17]}$$

$$m_{ns}^* = \frac{(1-\nu)}{8\pi}\operatorname{sen} 2\beta \quad \text{[Eq. 18]}$$

$$V_n^* = \frac{\cos\beta}{4\pi r}[2(1-\nu)\operatorname{sen}^2\beta - 3 + \nu] + \frac{(1-\nu)}{4\pi R}\cos 2\beta \quad \text{[Eq. 19]}$$

Em que:

$$r = \sqrt{[x(P) - x(Q)]^2 + [y(P) - y(Q)]^2} \quad \text{[Eq. 20]}$$

é a distância entre o ponto de carregamento Q e o ponto de deslocamento P, e R é o raio de curvatura do contorno da placa no ponto P, sendo, por isso, infinito para uma placa de lados retos.

2.6 Formulações regular e singular do método dos elementos de contorno

2.6.1 Formulação regular

Para implementar uma formulação regular do método dos elementos de contorno (MEC), o ponto fonte é colocado fora do domínio (KANE, 1994), dessa forma as integrais de linha não apresentam singularidades e são avaliadas numericamente usando a quadratura de Gauss. A integração de Gauss é realizada no intervalo de -1 a +1 de uma função qualquer $f(\varepsilon)$ da seguinte forma (CAMPUS, 2007):

$$\int_{-1}^{+1} f(\varepsilon)d\varepsilon = \sum_{k=1}^{NPG} f(\varepsilon_k)w_k \quad (21)$$

Onde, NPG é o número de pontos de integração (pontos de Gauss), ε_k e w_k são as abcissas e pesos de Gauss, respectivamente, sendo valores tabelados.
As integrais nas equações apresentam a seguinte forma:

$$\int_{\Gamma_j} \phi^*(Q_i, P)d\Gamma_j \quad \text{[Eq. 22]}$$

Observamos que para aplicar a integração de Gauss (21) é necessária uma mudança de coordenadas, pois, Q_i, P e $d\Gamma_j$ são funções de x e y. Para isso, colocamos um sistema de coordenadas local ao elemento, cuja escala vai de -1 a +1, esse sistema é denominado intrínseco ou normalizado ao elemento (KANE, 1994), veja a Figura 5.

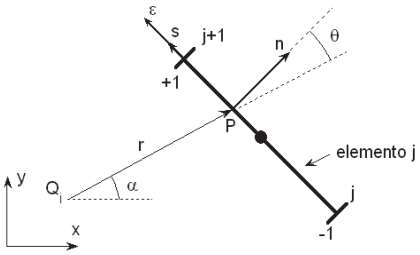


Figura 5 - Sistema de coordenadas global (x,y) e sistema de coordenadas local å.

Demonstra-se que a relação entre as coordenadas no sistema local e global é (KATSIKADELIS, 2002):

$$x(\varepsilon) = \frac{(x_{j+1} - x_j)}{2}\varepsilon + \frac{(x_{j+1} + x_j)}{2} \quad \text{[Eq. 23]}$$

$$y(\varepsilon) = \frac{(y_{j+1} - y_j)}{2}\varepsilon + \frac{(y_{j+1} + y_j)}{2} \quad \text{[Eq. 24]}$$

Dessa forma,

$$d\Gamma_j = \sqrt{dx^2 + dy^2} = \sqrt{\left(\frac{x_{j+1} - x_j}{2}\right)^2 + \left(\frac{y_{j+1} - y_j}{2}\right)^2}\, d\varepsilon = \frac{L_j}{2} d\varepsilon \quad \text{[Eq. 25]}$$

Em que L_j é comprimento do elemento j . Portanto, o jacobiano da transformação é:

$$|J(\varepsilon)| = \frac{L_j}{2} \quad \text{[Eq. 26]}$$

A distância r entre o ponto fonte Q_i e o ponto campo P é:

$$r = \sqrt{[x(\varepsilon) - x_i]^2 + [y(\varepsilon) - y_i]^2} \quad \text{[Eq. 27]}$$

Outras variáveis necessárias são as componentes dos vetores normal e tangencial ao elemento, $\vec{n}$ e $\vec{s}$, respectivamente. Observando a Figura 5, tiramos que:

$$s_x = \frac{(x_{j+1} - x_j)}{L_j} \qquad e \qquad s_y = \frac{(y_{j+1} - y_j)}{L_j} \quad \text{[Eq. 28]}$$

Do cálculo vetorial obtemos que:

$$\vec{n}.\vec{s} = 0 \qquad e \qquad \vec{n} \times \vec{r} = \vec{k} \quad \text{[Eq. 29]}$$

Resolvendo simultaneamente as duas equações (ver KANE, 1994), chega-se à:

$$n_x = s_y \qquad e \qquad n_y = -s_x \quad \text{[Eq. 30]}$$

Para o MEC regular precisamos determinar as coordenadas do ponto fonte Q, colocado a uma distância d do elemento, conforme ilustra a Figura 6.

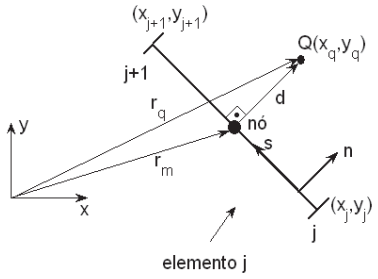


Figura 6 - Ponto fonte Q colocado a uma distância d do elemento.

Podemos relacionar as coordenadas do ponto fonte com as coordenadas do nó do elemento. Como o nó é o ponto médio, temos que:

$$x_m = \frac{(x_{j+1} + x_j)}{2} \qquad e \qquad y_m = \frac{(y_{j+1} + y_j)}{2} \qquad \text{[Eq. 31]}$$

Pelo cálculo vetorial escrevemos o vetor $\vec{d}$ como:

$$\vec{d} = \vec{n}d = n_x d\vec{i} + n_y d\vec{j} \qquad \text{[Eq. 32]}$$

Assim, podemos obter o vetor $\vec{r}_q$ como a soma de $\vec{d}$ e $\vec{r}_m$, isto é:

$$\vec{r}_q = \vec{r}_m + \vec{d} \qquad \text{[Eq. 33]}$$

Resolvendo a equação (ver KANE, 1994) para x_q e y_q, obtemos:

$$x_q = x_m + n_x d \qquad e \qquad y_q = y_m + n_y d \qquad \text{[Eq. 34]}$$

Então, finalmente, podemos aplicar a quadratura de Gauss à equação:

$$\int_{-1}^{+1} \phi^*(\varepsilon) J(\varepsilon) d\varepsilon = \sum_{k=1}^{NPG} \phi^*(\varepsilon_k) J(\varepsilon_k) w_k \qquad \text{[Eq. 35]}$$

2.6.2 Formulação singular do MEC

Neste caso, o ponto fonte é colocado no nó dos elementos (KANE, 1994), nesse ponto $r = 0$, dessa forma na integral [Eq . 22] aparecem singularidades do tipo $1/r$ e $1/r^2$, portanto, é necessário o tratamento dessas singularidades.

3. RESULTADOS

Tabela 1 - Deslocamentos ou esforços para os pontos indicados na Figura 6.26 obtidos através do método dos elementos finitos (MEF) e pelo método dos elementos de contorno.

Valor	MEC	MEF	Fator
w_A	0,0458	0,0407	
w_B	0,0171	0,0156	qL
w_C	0,0131	0,0121	
m_{n_1}	0,263	0,2409	
m_{n_2}	0,1944	0,1824	qL^2
m_{n_3}	0,1318	0,1268	
m_{n_2}	0,0707	0,0700	

Fonte: PAIVA, J.B. Formulação do método dos elementos de contorno para flexão de placas e suas aplicações em engenharia de estruturas. 195 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas), Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 1987.
Nota: Para o MEC foram utilizados 40 elementos de contorno lineares contínuos, para o MEF foram utilizados 144 elementos triangulares de seis parâmetros por nó (T-18) conforme Paiva (1987).

3.1 Placa triangular equilátera engastada no contorno

Neste exemplo pudemos comparar o método dos elementos de contorno com o método de diferenças finitas (MDF). A Figura 6 ilustra a forma deformada da placa para uma discretização com 84 elementos de contorno. A Tabela 2 mostra os

resultados encontrados para os pontos indicados na Figura 7.

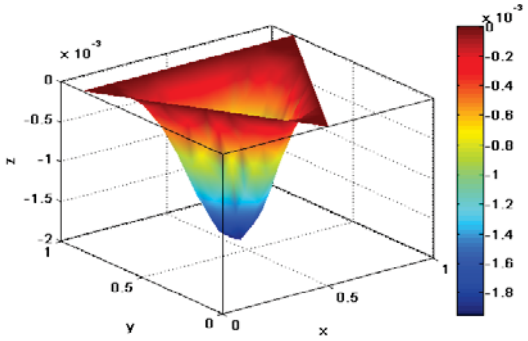


Figura 7 - Forma deformada da placa triangular engastada $(\nu = 0,16)$ obtida pelo MEC, para 84 elementos de contorno.

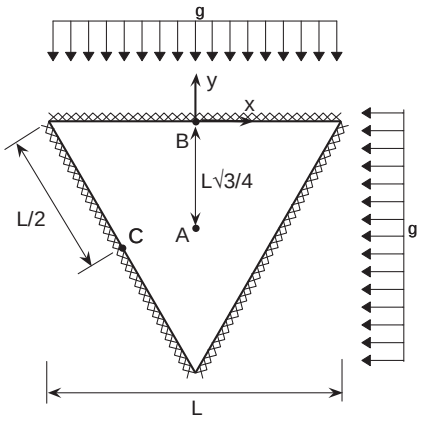


Figura 8- Placa triangular equilátera engastada no contorno.

Tabela 2 - Valores para os pontos indicados na Figura 6.28. Comparação entre o método dos elementos de contorno (MEC) e o método de diferenças finitas (MDF). Discretização com 84 elementos de contorno e fator do ponto fonte igual a 0,1.

Valor	MEC Regular	MEC Singular	MEC (PAIVA, 1987)	MDF (PAIVA, 1987)	Fator
w_A	0,0001168	0,0001168	0,0001168	0,0002087	gL^4/D
m_{n_B}	0,0198105	0,0198038	0,0198900	0,0178600	qL^2
m_{n_C}	0,0198105	0,0198038	0,0198900	0,0178600	

Nota: Paiva (1987) usou 44 elementos lineares contínuos.

Analisando e comparando os valores obtidos pelas experimentações acima, observamos que os resultados obtidos pelo Métodos dos Elementos de Contorno (MEC) são bem próximos daqueles proporcionados pelo Método das Diferenças Finitas (MDF). Tal resultado nos permite concluir que o MEC é uma ferramenta muito eficiente não somente em seus resultados, como também de proporcionar uma elevada economia computacional em comparação ao MDF, já que trabalha somente com elementos presentes do contorno do objeto de estudo.

REFERÊNCIAS

CAMPUS, F.F. **Algoritmos Numéricos**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

KANE, J.H. **BOUNDARY ELEMENT ANALYSIS in Engineering Continuum Mechanics**. New Jersey: Prentice Hall, 1994.

KATSIKADELIS, J.T. **Boundary Elements**: theory and applications. 1th ed. Amsterdan: ElSEVIER, 2002.

PAIVA, J.B. **Formulação do método dos elementos de contorno para flexão de placas e suas aplicações em engenharia de estruturas**. 1987. 195 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 1987.

TIMOSHENKO, S.P.; GOODIER, J.N. **Teoria da Elasticidade**. Tradução: Sérgio Fernandes Villaça, Humberto Lima Soriano, Hierônimo Santos Souza. 3 ed. Rio de Janeiro, RJ: McGraw-Hill, 1970.

INFLUÊNCIA DA FUNÇÃO DE VELOCIDADE DE CORTE CONSTANTE NA USINAGEM DE MATERIAIS EM MÁQUINAS COM COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO

F. I. E. X. Ferreira[1], A. P. Moreira[2], E. C. Mota[3], D. A. Barbosa[4], D. G. Pinheiro[5]
[1]Instituto Federal do Ceará - Campus Fortaleza , [2]Instituto Federal do Ceará – Campus Fortaleza, [3]Instituto Federal do Ceará – Campus Fortaleza, [4]Instituto Federal do Ceará – Campus Fortaleza e [5]Instituto Federal do Ceará – Campus Fortaleza
emanuelxavierferreira@alu.ufc.br – apmoreira@ifce.edu.br – evaldom@ifce.edu.br – danielleAlves@ifce.edu.br – dgpinheiro@ifce.edu.br

RESUMO

Cotidianamente, nos inúmeros processos de usinagem, vários procedimentos são realizados para minimizar o custo de produção. Fatores como o elevado tempo de usinagem; a habilidade do operador e as condições de funcionamento das máquinas são algumas variáveis que influenciam diretamente no preço final do produto. As máquinas com comandos numéricos computadorizados (CNC's) são máquinas encontradas em quase todos os segmentos industriais, das pequenas oficinas de usinagem às grandiosas companhias de manufatura. A proposta desse trabalho é analisar e validar a função G96 (velocidade de corte constante) na operação de usinagem nas superfícies de materiais utilizados nos processos de fabricação. Foi utilizado o torno CNC modelo Vulcanic gold 160 do Laboratório de Máquinas Operatrizes do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE e programado um deslocamento na ferramenta de corte para executar o faceamento dos corpos de prova utilizando as funções G96 (velocidade de corte constante) e G97 (rotação constante). Foram analisados os resultados de rugosidade dos corpos de prova com o rugosímetro Mitutoyo, modelo SJ201 do Laboratório de Metrologia da Universidade Federal do Ceará - UFC. Os resultados demonstraram que a função G96 proporcionou um melhor acabamento superficial das peças. As maiores variações de rugosidade na usinagem utilizando as funções G96 e G97 ativadas foram 28,72 % para o alumínio e 20,67 % para o aço ABNT 1045.

Palavras-chave: Tornos CNC, Funções G96 e G97, Velocidade de Corte, Rugosímetro, Acabamento Superficial.

1. INTRODUÇÃO

No desenvolvimento histórico das máquinas ferramentas de usinagem, sempre se procurou soluções que permitissem aumentar a produtividade com qualidade superior associada à minimização dos desgastes físicos na operação das máquinas. Muitas soluções surgiram, mas até recentemente, nenhuma oferecia flexibilidade necessária para o uso de uma mesma máquina na usinagem de peças com diferentes configurações e em lotes reduzidos.

A "Guerra Fria", iniciada após o término da 2ª Guerra Mundial, significou uma nova corrida armamentista entre dois blocos políticos: o capitalista e o socialista. A necessidade crescente de novos armamentos, com elevados níveis de tecnologia, era evidente. Projetos deveriam rapidamente "sair do papel", empregando-se processos de fabricação que proporcionassem cada vez maior produtividade, sem qualquer comprometimento da qualidade (MOREIRA, 2002).

Os tornos mecânicos convencionais (Figura 1) são máquinas-ferramentas usadas nos meios industriais para desbastar, facear, cortar, rosquear, chavetar e construir ângulos em mais diferentes materiais (FREIRE, 1984).

Figura 1 – Torno Mecânico Convencional

Segundo Louvet (1977), em 1677, Joseph Maxon mencionou pela primeira vez um torno construído de ferro, porém de pequenas dimensões. Já por volta de 1740, foi fabricado na França um torno onde é necessário girar a manivela para dar rotação à peça. Em 1797, na Inglaterra, Henry Mandslay construiu um torno para abrir roscas com avanço automático e engrenagem de mudança, movidas por manivela. Nos Estados Unidos, de 1830 a 1880, surgiram os primeiros tornos com barramento de madeira, trilhos ou ferro e, em 1850, foram desenvolvidos, por Putnan e Freeland, os tornos com parafuso de avanço (Fuso). Desde então, os tornos mecânicos tem seguido uma escala de aperfeiçoamento continuo de precisão, sendo bastante aprimorado durante o período da Segunda Grande Guerra Mundial.

A evolução do torno universal levou a criação do torno revólver, do torno copiador e do torno automático com programação elétrica ou mecânica, com o emprego de cames. Em 1949, os controles e comandos convencionais foram retirados e substituídos pelo comando numérico, dotado de leitora de fita de papel perfurado, unidade de processamento de dados e servomecanismo nos eixos. Em 1956, surgiu o trocador automático de ferramentas; mais tarde, em 1958, apareceram os equipamentos com controle de posicionamento ponto a ponto e a geração contínua de contornos. A partir de 1957, os

industriais começaram a fabricar tornos com comandos numéricos – CN (Figura 2) em vez de adaptações de tornos convencionais.

O problema fundamental, que emerge do estudo de qualquer usinagem de metais pelas máquinas operatrizes, é o referente à busca de velocidades apropriadas para a usinagem peças. De acordo com Rossi (1970), as máquinas operatrizes devem se adaptar às exigências do mercado especialmente do ponto de vista da velocidade, que é o fator de maior influência no acabamento e durabilidade da ferramenta de corte. Atualmente as empresas investem maciçamente em tecnologia, procurando aumentar a produtividade e qualidade dos produtos sem aumento nos custos de fabricação, condições essenciais para a sua sobrevivência em uma economia em fase de globalização.

Figura 2 – Torno com CN - LMO/IFCE

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Maquinas Operatrizes (LMO) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE, no campus de Fortaleza. Foi utilizado para usinar as peças o torno CNC modelo Vulcanic gold 160 (Figura 3).

Figura 3 - Torno CNC modelo Vulcanic gold 160 – LMO/IFCE

Nos ensaios foram utilizados, como corpo de prova, cinco tipos de materiais empregados na indústria metal-mecânica (Tabela 1). O experimento consistiu em analisar o efeito dos deslocamentos da ferramenta quando ativados as funções de velocidade de corte constante (G96) e rotação constante (G97).

Os corpos de prova foram pré-usinados nas faces da peça para uniformizar a superfície dos mesmos, permitindo parâmetros de profundidade uniforme nos ensaios.

O diâmetro padrão estabelecido nos corpos de prova foi de 45 mm e os parâmetros de corte calculados de acordo com a norma e o catálogo do fabricante da ferramenta de corte. Foi utilizada para usinar os materiais a ferramenta de metal duro DNMG 110404-NM04 (codificação ISO).

Os parâmetros de rotação (RPM) foram calculados conforme os parâmetros de velocidade de corte para cada tipo de material. Os parâmetros de rotação (RPM) foram calculados de acordo com a Equação 1. Seguindo a recomendação do fabricante da ferramenta de corte, foi estabelecido o valor de avanço da ferramenta em f = 0.3mm/rot e adotado como profundidade de corte ap= 0.5mm. Esses parâmetros foram escolhidos por serem parâmetros comuns para os materiais utilizados nos ensaios.

A velocidade de corte é definida como a velocidade instantânea de um ponto de referência localizado na interface material-aresta principal de corte (ferramenta). É considerada a principal grandeza de corte, responsável pelos tempos de usinagem produtivos e de vida útil da ferramenta. Possui também grande efeito sobre o acabamento da peça usinada. A escolha da velocidade de corte adequada depende muito de vários fatores: material da peça, tipo e material da ferramenta, uso de lubrificação refrigerante, entre outros (FERRARESI, 1970).

Tabela 01 – Materiais e Parâmetros de Corte. WALTER, 2001

Tipo de Material	Vc (m/min)	Rotação por Minuto (RPM)
Aço ABNT 1020	380	900
Aço ABNT 1045	162	520
Alumínio	704	1600
Latão	301	700
Aço Inox	222	500

$$N = \frac{1000vc}{\pi.D} \qquad \text{[Eq. 1]}$$

Foi editado um programa para realizar o desbaste em uma das faces de cada corpo de prova, utilizando a função G97 (RPM constante). Posteriormente, na outra face de cada corpo de prova, foi realizado o desbaste com o comando G96 (velocidade de corte constante), sendo realizada uma pequena alteração no programa, inserindo a função G50 (limite de rotação) para evitar uma sobrecarga de rotação do motor quando a ferramenta se aproxima do centro da peça.

De acordo com (Siemens, 2002), a função G96 ativada altera automaticamente a rotação de fuso dependendo do respectivo diâmetro da peça de forma que permaneça constante a velocidade de corte S em m/min no gume de ferramenta. Disso resultam superfícies torneadas uniformes e, em conseqüência disso, uma melhor qualidade da superfície usinada.

2.1 Limite de Rotação

A rotação do eixo árvore é uma grandeza inversamente proporcional ao diâmetro da peça a ser usinada e o material utilizado define a velocidade de corte a ser utilizada. À medida que a ferramenta se aproxima do centro da peça o diâmetro de posicionamento da ferramenta se aproxima a zero, e conseqüentemente induz a rotação do eixo a tender ao infinito, conforme a Equação 2. No gráfico da Figura 4 pode-se observar o comportamento da rotação x diâmetro.

A escolha da velocidade de corte adequada depende de vários fatores: material da peça, tipo e material da ferramenta, utilização de lubrificação (fluido refrigerante), fixação da peça e ferramenta de corte.

$$N_{máx} = \lim_{D \to 0} \frac{1000vc}{\pi.D} = \infty \ldots rpm \qquad \text{[Eq. 2]}$$

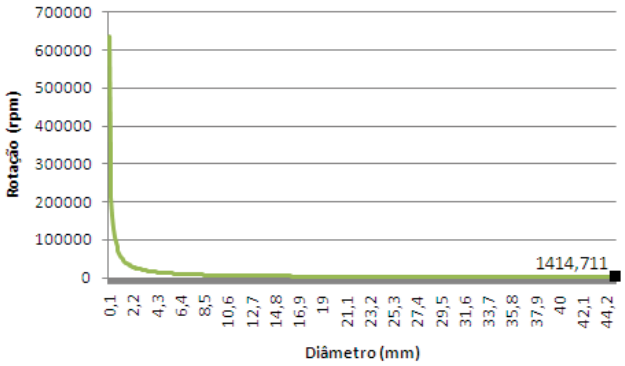


Figura 04 - Diâmetro X Rotação

A função G96 estabelece a programação em velocidade de corte constante, sendo necessário limitar a rotação máxima do eixo para garantir a segurança do operador e a evitar que a máquina trabalhe no limite máximo de rotação. Foi estabelecida para os ensaios, a rotação máxima dos ensaios em 6000 RPM. Na Figura 5 são apresentadas as curvas de rotação do eixo árvore do torno CNC e a função G50 limitando a rotação máxima em 6000 RPM.

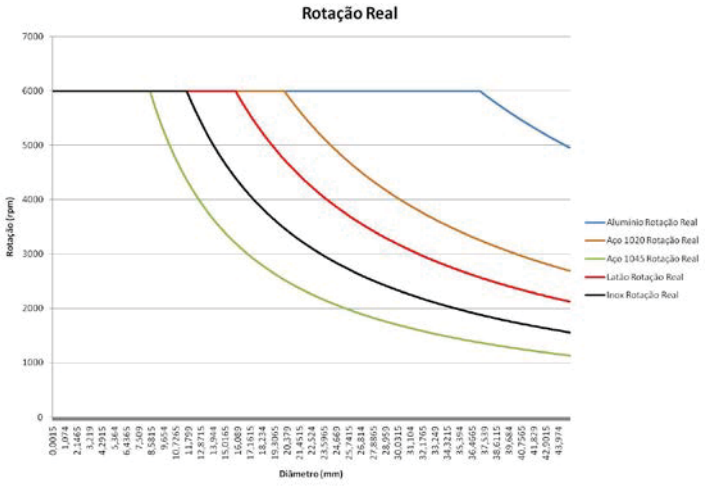


Figura 5 - Rotação máxima de Ensaio

2.2 Rugosímetro

O rugosímetro é um equipamento utilizado para verificar a uniformidade da parte usinada a fim de obter as características de acabamento da peça. Foi usado o rugosímetro portátil Mitutoyo – SJ201 (Figura 6). Embora esse modelo apresente quatro parâmetros de medição: R.a, R.z, R.q, R.x, foi selecionado o parâmetro R.a (Desvio Aritmético Padrão). A escolha se deve ao fato de ser o parâmetro de amplitude mais amplamente utilizado como parâmetro de medição de rugosidade. Trata-se de um parâmetro muito utilizado pela indústria e que está disponível nos instrumentos mais simples. Como representa um valor médio, é um parâmetro estável, que não recebe influência de efeitos ocasionais.

Em muitos casos, a rugosidade é utilizada como parâmetro de saída para controlar um processo de usinagem. De fato, a rugosidade de uma superfície depende de vários parâmetros, como máquina-ferramenta, propriedades do material da peça, geometria e material da ferramenta, e operação de usinagem (MACHADO, 2009).

Figura 6 - Rugosímetro portátil Mitutoyo – SJ201

Foi utilizado um bloco padrão (Figura 7) para realizar a calibração do equipamento. O procedimento consistiu em movimentar a ponta de diamante do rugosímetro no bloco padrão (2,97 µm) e posteriormente comparando o valor indicado no instrumento com a dimensão do bloco padrão. Com o objetivo de adequar a altura da peça a ponta de diamante do rugosímetro foi inserido um suporte (apalpador) e escolhida, de forma aleatória, uma pequena região na área da superfície da peça para ser analisada, onde foi mensurada apenas a rugosidade independente da conformação da superfície.

Figura 7 - bloco padrão (2,97 µm)

A ponta de diamante (Figura 8) funcionou como sensor de contato, que registrou as irregularidades da superfície transformando em pulsos elétricos para posteriormente enviar para o equipamento que processa as informações convertendo em leitura digital (média da superfície de cada material).

Figura 8 – Detalhe da ponta de diamante

3. RESULTADOS

Os resultados das medições de rugosidade dos materiais quando utilizada as funções G96 e G97 são descritas na Tabela 3. Em todos os resultados, foi constatada a redução do valor da rugosidade dos materiais quando utilizada a função G96 na usinagem. Os materiais tiveram a redução de rugosidade em 2,26 % para o Aço ABNT 1020, 28,72 % para o alumínio, 9,72 % para o aço inox, 2,45 % para o latão e 20,67 % para o aço ABNT 1045.

Tabela 3 – Avaliação das Rugosidades dos Materiais

Materiais	Função Utilizada no Ensaio	Rugosidade Medida (µm)
Aço ABNT 1020	G97	1,77
	G96	1,73
Alumínio	G97	1,88
	G96	1,34
Aço Inox	G97	1,85
	G96	1,67
Latão	G97	2,04
	G96	1,99
Aço ABNT 1045	G97	1,79
	G96	1,42

4. CONCLUSÕES

Foi desenvolvido um programa simples (faceamento) em torno CNC, que consistiu em comparar as funções G96 e G97. O programa foi elaborado utilizando as funções G0 e G01 que realizaram a aproximação e controle de avanço da ferramenta e estabelecido a profundidade de corte (ap) e avanço da ferramenta (f) em 0,5mm e 0,3mm/rot, respectivamente.

Os resultados obtidos nos ensaios (Tabela 3) não demonstraram grandes discrepâncias em alguns materiais quando usinados em velocidade de corte constante (G96) e rotação constante (G97), esse fator se deve ao fato dos corpos de provas possuírem diâmetros pequenos, fazendo com que o eixo-árvore tenha a partida em alta rotação e por não provocarem a mudança significativa da rotação da máquina.

Os ensaios permitiram validar a eficiência da função de velocidade de corte constante (G96) visto que, as superfícies de acabamento das peças apresentaram a redução na rugosidade comparada às superfícies quando utilizada a função de rotação constante (G97).

REFERÊNCIAS BILIOGRÁFICA

FERRARESI, Dino. Fundamentos da Usinagem dos Metais 11 ed. São Paulo: BLÜCHER LTDA, 2003, 751p.

FREIRE, José Mendonça. Fundamentos da Tecnologia Mecânica. Rio de Janeiro : LTC – Livros Técnicos Ciêntifios S.A, 1984.

FRANZ, Josef. Comando Numérico – CNC Técnica Científica Operacional 1 ed. São Paulo: PEDAGÓGICA E UNIVERSITÁRIA LTDA, 1983. 176p.

LOUVET, J.C. Curso Básico de Torneiro Mecânico 1ed. São Paulo: Égeria S.A, 1977. 255p.

MACHADO, Álisson Rocha.; COELHO, Reginaldo Teixeira.; ABRÃO, Alexandre Mendes. Teoria da usinagem dos Materiais. 1ed. São Paulo : BLÜCHER LTDA, 2009 . 367p.

MOREIRA, André Pimentel. Comandos Numéricos Computadorizados - Torno e Centro de Usinagem. Fortaleza: IFCE, 2010 135p.

SIEMENS. Guia de Programação**.** 11.02. ed. Erlangen: Siemens, 2002

INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS NO PROCESSO DE AQUECIMENTO DE ÁGUA ATRAVÉS DA ENERGIA SOLAR

Herbert Melo[1]; Márcio Gomes[2]; Joselma Araujo[3]; Cícero Herbert[4]; José Maurício[5]
[1,3,4,5]Universidade Federal da Paraíba campus - I, Lab. de Energia Solar, João Pessoa - PB - Brasil
[2]Instituto Federal da ParaíbacampusJoão Pessoa - PB - Brasil
[1]herbert_melo@yahoo.com.br - [2]mgcefet@gmail.com - [3]joselmaaraujo@yahoo.com.br-
[4]eng_herbert@yahoo.com.br - [5]jm.gurgel@uol.com.br

RESUMO

Atualmente o mundo está voltado para a preservação e renovação do meio ambiente, buscando utilizar fontes alternativas de energia que sejam ecologicamente correta, a exemplo temos a energia solar, o aproveitamento desta energia apresenta diversos benefícios, por ser uma energia simples, limpa, confiável, segura, gratuita, silenciosa e livre de qualquer poluição. O objetivo deste trabalho visa verificar teoricamente as melhores condições de trabalho de um coletor solar usado para o aquecimento de água em um dia típico na cidade de João Pessoa - PB, sendo observado a influência dos parâmetros,como a vazão e temperatura da água que circula pelo coletor solar na eficiência térmica do mesmo.Os resultados obtidos pelo modelo matemático foram comparados com os resultados experimentais de uma estação meteorológica, e com um sistema de aquecimento de água, onde ficou claro que o modelo desenvolvido esta de acordo com os resultados experimentais como pode ser verificado nas Figuras 1 e 2. Com os resultados obtidos na simulação foi possível observar que o aumento da vazão, contribui para o aumento da eficiência do coletor, mas proporciona baixas temperatura da água na saída do coletor solar conforme apresentado nas Figuras 4 e 5. Desta forma foi possível definir as melhores condições de funcionamento do sistema de aquecimento solar.

Palavras-chave: Coletor solar, Energia, Aquecimento.

INTRODUÇÃO

O coletor é o dispositivo responsável pela captação da energia proveniente do sol e sua conversão em energia utilizável (Lima, 2003). A placa absorvedora tem a função de converter a energia radiante em calor, transferi-la para as tubulações e em seguida, para o fluido térmico (água). A cobertura transparente, geralmente feita de vidro comum ou policarbonato, reduz as perdas radiativas e convectivas da placa absorvedora, sendo responsável pelo efeito estufa ao refletir de volta a radiação infravermelha para a placa. De acordo com Lima as vantagens na utilização de coletores solares planos em comparação aos demais tipos de coletores está na simplicidade de construção, baixo custo, nenhuma parte móvel, certa facilidade de reparo e uma boa durabilidade. Os coletores solares devem ser bem construídos para funcionar bem nas mais diversas faixas de temperatura de operação, o que caracteriza a sua eficiência. Para isso algumas características de construção da placa absorvedora e do gabinete devem ser observadas.

A placa coletora juntamente com a serpentina são as partes do coletor solar que é realmente responsável pela recepção, conversão e transferência da energia solar para o fluido térmico sendo de cor negra. As placas coletoras são geralmente chapas de material que tem uma boa condutividade térmica. Isto é feito para aperfeiçoar as trocas térmicas entre a placa coletora e o fluido térmico que circula no interior do coletor solar. O material mais usualmente empregado na construção das placas coletoras é o alumínio enegrecido e á serpentina é o cobre. O gabinete tem a finalidade de isolar a placa coletora do meio ambiente garantindo que as variações atmosféricas afetem da maneira mais amena possível a conversão de energia solar em energia térmica.

REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Correlações que estimam a radiação solar difusa sugeriram que o model de Collares-Pereira & Rabl (1979) é um dos mais precisos. Segundo Fraidenraich e Lyra (1995), a constante solar é definida como a quantidade de enegia que incide em uma superficie unitária, normal aos raios solares, por unidade de tempo, em uma região situada no topo da atmosfera. Apesar dessa região estar fora da superfície terrestre, é a partir dela que se baseia a análise da intensidade de radiação recebida pela superfície. O fluxo de energia que atinge o topo da atmosfera terrestre é de aproximadamente 1353 W/m^2, o que representa o fluxo médio de energia recebido por uma superfície normal à incidência da radiação solar, e é denominada constante solarO ângulo de incidência dos raios em um dado instante é de grande improtência para a quantificação da energia vinda do sol. Para isso, toma-se necessário o conhecimento de alguns fatores geográficos do local analisado, como a altitude, ângulo horário, declinação solar, ângulo da superficie em relação ao plano horizontal, direção para a qual a superficie está apontando. Contudo, devido a excentricidade da órbita terrestre, esse fluxo sofre variações, ao longo do ano, influenciando diretamente no clima, originando assim as estações. Desta forma, essas variações podem ser determinadas por (DUFFIE & BECKMAN, 1991):

$$G_r = G_{CS} \cdot \left(1 + 0{,}033 \cdot \cos\frac{360}{365} \cdot n_d\right) \text{[Eq. 01]}$$

Onde G_r é a radiação solar extraterrestre medida num plano normal à direção de propagação (W/m^2), G_{cs} é a constante solar (W/m^2) e n_d é o número do dia do ano.Segundo Oliveira Filho e Silveira (2006), a cromosfera é a camada da atmosfera solar logo acima da fotosfera. Ela tem cor avermelhada e é visível durante os eclipses solares, logo antes e após a totalidade. De acordo com Duffie e Beckman (1991), esta é uma camada gasosa com temperaturas maiores do que a fotosferamas de densidade mais baixa.

METODOLOGIA

Modelo matemático

Fluxo de radiação solar sobre o coletor solar plano

Radiação Solar Incidente

O dimensionamento de qualquer sistema que utilize a energia solar requer o conhecimento da orientação da incidência dos raios solares em uma superfície, seja plana ou inclinada.

Coordenadas Geográficas

Latitude geográfica (Φ) A cidade do João Pessoa - PB possui latitude geográfica de -7° 06´5´´. As instalações localizadas no hemisfério sul devem posicionar o plano dos coletores solares voltados para o norte geográfico (γ = 0º), enquanto que as localizadas no hemisfério norte voltados para o sul geográfico (γ =180º).

Longitude geográfica (λ) A Longitude é muito importante para a determinação dos fusos horários e da hora solar. A cidade de João Pessoa - PB possui longititude geográfica de -34° 51' 47''.

Altitude (Z) equivale à distância vertical medida entre o ponto de interesse e o nível médio do mar.

Declinação (δ)A declinação varia de 0 a 90 °

Declinação solar (δ)

$$\delta = 23{,}45 \cdot \sin\left(360 \cdot \left(\frac{284+n_d}{365}\right)\right) \text{[Eq. 02]}$$

$$I_T = \left(I_{dir}.R_{dir}\right) + I_{dif} \text{ [Eq. 03]}$$

Onde I_t é a radiação solar total instantânea que chega a uma superfície inclinada (W/m^2),

no qual a radiação solar incidente, em uma superfície inclinada, possui três componentes, quer sejam:

- Radiação solar direta - Devido ao fluxo direto de radiação solar incidente na superfície;
- Radiação solar difusa - Devido ao espalhamento da radiação solar na atmosfera terrestre.
- Radiação solar difusamente refletida do solo - Devido ao fluxo de radiação solar direta e difusa que incide sobre o solo.

Consequentemente pode-se expressar a radiação solar total incidente sobre a superfície inclinada, como:

$$I_T = \left(I_{dir} \cdot R_{dir}\right) + \left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) \cdot I_{dir} + \left(I_{dir} + I_{dif}\right) \cdot \rho_s \cdot \left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \text{ [Eq. 04]}$$

Como se pode observar na equação 4, a quantidade de radiação difusa que atinge uma superfície inclinada corresponde a parcela proveniente da abóboda celeste mais a porção refletida pelo solo e circunvizinhanças (árvores, telhados, edificações e etc.). Esta porção é determinada pelo albêdo ou refletância do local (ρ_s), considerando o solo como sendo grama verde o albêdoé 0,26.

Captação e Perda de energia solar no coletor solar plano e armazenamento do fluido térmico.

A equação que governa o desempenho térmico do coletor solar plano é, de forma mais generalizada, uma aplicação do princípio da conservação de energia em regime permanente. Ela é baseada na diferença entre as energias absorvida e perdida, a qual é igualada a energia transferida ao fluido de trabalho. A equação 5 é normalmente chamada de equação de Hottel-Whilier (DUFFIE e BECKMAN, 1991).

$$\frac{\dot{Q}_u}{A_{col}} = \left[F_R \cdot I_t \cdot (\tau\alpha) - F_R \cdot U_L \cdot (T_{mp} - T_{amb})\right] = \frac{\dot{m} \cdot c_p}{A_s} \cdot \left(T_e - T_{mp}\right) \text{[Eq. 05]}$$

O fator de eficiência do coletor solar F´, Representa a razão entre a energia líquida obtida e a energia adquirida se a superfície absorvedora do coletor estivesse na temperatura de entrada do fluido, com fluxo de calor uniforme.

$$F` = \frac{{}^{1}/_{U_L}}{W \cdot [D + (W - D_{int.}) \cdot F] + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi \cdot D_{int} \cdot h_f}} \text{[Eq. 06]}$$

A condutância da conexão pode ser estimada a partir do conhecimento da condutância térmica da conexão k_b, da média da espessura da conexão γ_e e de seu comprimento b.

$$C_b = \frac{k_b \cdot b}{\gamma_e} \text{[Eq. 07]}$$

Fator de remoção de calor do coletor (F_r)

O fator de remoção de calor (F_r) em um coletor solar relaciona a energia real obtida em um coletor com a energia que ele obteria se todo o fluido em seu interior fosse mantido na mesma temperatura de entrada.

$$F_{r=} \frac{\dot{m} \cdot c_p \cdot (T_s - T_e)}{A_{col} \cdot \left[I_t \cdot (\tau\alpha) - U_{T.coletor} \cdot (T_{ent} - T_{amb})\right]} = \frac{\dot{m} \cdot c_p}{A_{col} \cdot U_{T.coletor}} \cdot \left[1 - e^{-\left(A_c \cdot U_{T.coletor} \cdot F` / \dot{m} \cdot c_p\right)}\right] \text{[Eq. 08]}$$

Fator de fluxo (F'')

O fator de fluxo F'' é definido como a razão entre o FR e F'

$$\mathrm{F''} = \frac{\mathrm{F}_r}{F`} = \frac{\dot{m} \cdot c_p}{A_{col} \cdot U_{T.coletor} \cdot F`} \cdot \left[1 - e^{-\left(A_c \cdot U_{T.coletor} \cdot F` / \dot{m} \cdot c_p\right)}\right] \text{[Eq. 09]}$$

Temperatura média do fluido e da placa

Para avaliar a eficiência do coletor, é necessário conhecer o coeficiente global de perda e o coeficiente de transferência de calor interno do fluido. No entanto, $U_{T.coletor}$ e h_f são dependentes da temperatura.

Temperatura média do fuido térmico (T_{mf}):

$$T_{mf} = T_{ent} + \frac{Q_u/A_c}{F_r} \cdot (1 - F'') \text{ [Eq. 10]}$$

Temperatura média da placa equação de Klein (T_{mf}):

$$T_{mp} = T_{ent} + \frac{Q_u/A_c}{F_r \cdot U_L} \cdot (1 - F_r) \text{ [Eq. 11]}$$

Coeficiente de perdas

O coeficiente global de perdas do coletor solar e dada pela expressão:

$$U_{T.coletor} = (U_s.A_s + Ui.A_i + U_l.A_l).(T_{amb} - T_p) \text{ [Eq. 12]}$$

Coeficiente global de perdas pela lateral do coletor.

$$U_{Lat} = {U_i \cdot \text{área lateral}}/{\text{área coletor}} \text{ [Eq. 13]}$$

Coeficiente de perdas pela parte inferior do coletor solar, de acordo com tem-se:

$$U_i = \frac{k_{iso}}{L_{iso}} \text{ [Eq. 14]}$$

O coeficiente global de perdas térmicas no coletor solar pela parte superior pode ser obtido pela equação abaixo (DUFFIE e BECKMAN, 1991):

$$U_s = \left\{ \frac{N_c}{\frac{C_i}{T_{placa}} \cdot \left[\frac{(T_{placa} - T_{amb})}{(N_c + fator)} \right]^e} + \frac{1}{h \cdot v} \right\}^{-1} + \frac{\sigma \cdot (T_{Placa} + T_{amb})(T_{Placa}^2 + T_{amb}^2)}{(\varepsilon_{placa} + 0{,}00591 \cdot N_c \cdot h \cdot v)^{-1} + \frac{2 \cdot N_c + fator - 1 + 0{,}113 \cdot \varepsilon_{placa}}{\varepsilon_{vidro}} - N_c} \text{ [Eq. 15]}$$

$$f = (1 + 0{,}089.h_{vidro} - 0{,}1166.h_{vidro}.\varepsilon_{placa}).(1 + 0{,}07866.N_c) \text{ [Eq. 16]}$$

$$C_i = 520.(1 - 0{,}000051.\beta^2) \text{ Para } 0° < \beta < 70° \text{ [Eq. 17]}$$

$$e = 0{,}43.(1/(100/T_{placa})) \text{ [Eq. 18]}$$

Coeficiente de convecção no vidro:

$$h_v = 2{,}8 + 3 \cdot velocidadedovento \text{ [Eq.19]}$$

$$\beta = Latitudelocal + 10° \text{ [Eq.20]}$$

Eficiência do coletor solar

A eficiência de um coletor solar é definida como a energia útil transferida ao fluido sobre a energia solar total incidente:

$$\eta_a = \frac{\int Q_u \cdot dt}{A_c \cdot \int I_t \cdot dt} = \frac{\dot{Q}_u / A_{col}}{I_t} \quad \text{[Eq.21]}$$

Para obter a temperatura média da placa do coletora solar (T_{mp}), um processo iterativo é usado, sendo iniciado com a suposição de um valor inicial para a temperatura média, com esse valor o coeficiente de perdas total do coletor ($U_{T.coletor}$) é recalculado e apartir daí são calculados F` e F_r pelas equações 6 e 8, respectivamente, com o valor de F_r calcula-se o novo valor da temperatura média da placa, que é comparado com o valor anterior. O processo é repetido até que o novo valor da temperatura média da paca defira do anterior de um valor estipulado, sendo neste momento a iteração interrompida e o F_r é usado para obter o ganho de energia no coletor solar.

Reservatóriotérmico

Balanço de energia no reservatório térmico (boiler)

O calor que chega ao reservatório térmico provém do coletor solar. O calor perdido inclui as perdas para o ambiente, o consumo de água quente e possível circulação da água nos coletores, quando encontra-se com temperatura abaixo da temperatura do reservatório. O fluido térmico foi considerado incompressível e o processo de transferência de calor será por convecção forçada dentro do tanque, sendo um escoamento laminar, unidimensional e velocidade constante. As propriedades físicas do fluido e do isolamento térmico são consideradas constantes, sendo os valores determinados para uma temperatura média entre a máxima e a mínima temperatura alcançada no boiler.

A temperatura do reservatório térmico foi considerada uma média entre a temperatura de entrada e saída do fluido térmico.

$$m_r \cdot c_{pr} \cdot \frac{dT_r}{dt} = \dot{Q}_{útil} - \dot{E}_{processo} - U_{pr} \cdot A_r \cdot (T_r - T_{amb}) + R \cdot i^2 \quad \text{[Eq.22]}$$

Coeficiente global de perda térmica para ambiente no boiler U_{pr}:

$$U_{pr} = \frac{1}{\frac{\ln\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right)}{2\pi \cdot k_{iso} \cdot L} + \frac{1}{h_{ext}} + \frac{1}{h_{int}}} \quad \text{[Eq.21]}$$

Coeficiente de convecção externo

O resfriamento da parede externa do reservatório para o meio ambiente, como sendo de convecção natural, o coeficiente de calor externo (h_{ext}) entre a parede e o ambiente, será:

$$h_{ext} = 0{,}119 \cdot (Gr \cdot Pr)^{2/5} \quad \text{[Eq.22]}$$

Válido para $Gr \cdot Pr > 10^9$

Coeficiente de convecção interno

A parede interna do reservatório térmico foi considerada como sendo uma placa plana de área$A_{int} = \pi \cdot D_{int} \cdot L$ de acordo com (Incropera, 2003). Para obtenção das propriedade, o fluido foi considerado uma temperatura média, entre a mínima e a máxima dentro do reservatório térmico.

$$N_u = 0664 \cdot {R_e}^{1/2} \cdot P_r^{1/3} \quad \text{[Eq.23]}$$

$$R_e = \frac{V \cdot L}{\nu} P_r \geq 0, \quad \text{[Eq.24]}$$

——[Eq.25]

Das Tabelas (Incropera, 2003)
Pr – número de Prandtl (0,707)
Nu – número de Nusselt
υ – viscosidade cinemática ($15{,}82.10^{-6} m^2/s$)
k – condutividade Térmica ($26{,}3.10^{-3}$ W/m.K)
Re – número de Reynolds

Inicialmente no reservatório térmico funciona unicamente como acumulador de energia e não existem perdas de energia para o chiller adsortivo e toda energia acumulado é proveniente da energia solar, quando a temperatura do fluido térmico no reservatório atingir a temperatura de trabalho inicia-se o processo de aquecimento do leito poroso e a energia auxiliar é acionada garantindo uma taxa constante de energia para o chiller adsortivo, desta forma a equação 22 nas primeiras horas do dia fica:

$$T_{r(i+1)} = T_{r(i)} + \frac{\Delta t}{m_r \cdot c_{pr}} \cdot \left[\dot{Q}_{útil} - U_{pr} \cdot A_r \cdot (T_r - T_{amb})\right] \text{[Eq.26]}$$

VALIDAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

O programa que simula a incidência da radiação solar sobre um coletor plano inclinado usado para aquecer água, foi validado através da comparação com dados obtidos na estação meteorológica localizado no Laboratório de Energia Solar (LES) na UFPB em João Pessoa – PB que tem latitude de -7° 06´ 5´´ e longitude de -34° 51´ 47´´, uma temperatura média anual de 28 ºC, a inclinação do coletor solar foi adotado de (latitude do local + 10 º) de acordo com (Duffie e Beckman, 1991). Os dados meteorológicos da Estação Automática em João pessoa – PB foram obtidos no dia 14/02/2011, o índice de claridade adotado na simulação foi de 0,62 indicando um dia parcialmente nublado. Na Figura 1 notamos que o resultado obtido pela simulação estão de acordo com os medidos pela estação meteorológica. A Figura 2 é apresentado os resultados experimentais obtido por (Souto, 2009) na cidade de João Pessoa – PB no ano de 2009, onde foi avaliado o desempenho térmico de um coletor solar para o aquecimento de água, o coletor tinha uma área de 1,7 m^2 para captação de energia, com uma chapa coletora de alumínio com 0,5 mm de espessura, tubos de cobre com 22 mm de diâmetro encontravam-se no interior do coletor, o ângulo de inclinação do coletor para captação da energia solar foi de 22°. O teste realizado no dia 10/09/2009 foi usado para comparar os resultados simulados neste trabalho, a vazão da água no coletor solar foi de 0,028 kg/s equivalente a 1 L/min para cada m^2 de área do coletor de acordo com a norma ABNT NBR 10184 , pode-se verificar que houve uma concordância das curvas geradas na simulação com os obtidos experimentalmente, o índice de claridade adotado para a simulação variou de 0,25 a 0,85.

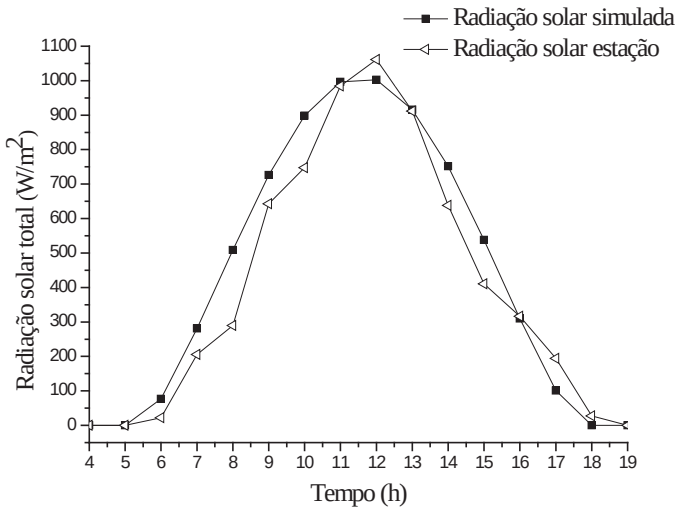


Figura 1 - Radiação solar simulada e medida na Estação Automática no dia 14/02/2011

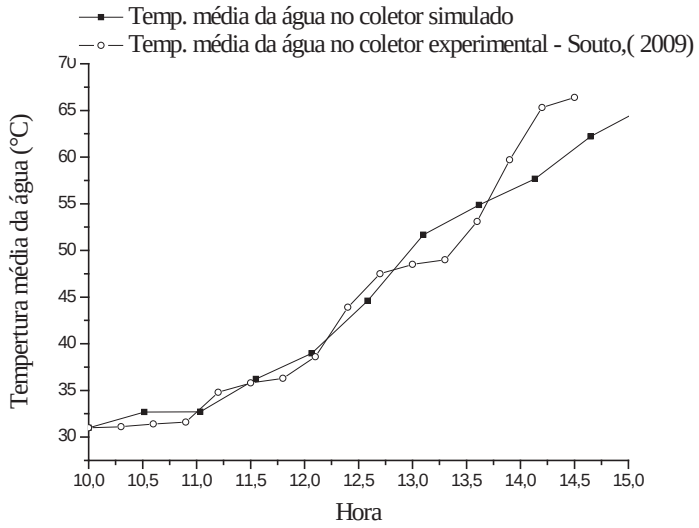


Figura 2 - Comparação temperaturas simuladas e medidas no dia 10/09/2009 da água

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Um coletor solar plano é usado para aquecer água que é armazenada em um boiler para posterior uso no chiller adsortivo. O período de menor incidência de radiação solar na cidade de João Pessoa – PB ocorre de Maio a Julho período de inverno, desta forma, o dia escolhido foi 15 de Junho de 2011 que corresponde ao dia 165 do ano, verifica-se na Figura 3 que a radiação solar total máxima que insidio sobre uma superfície inclinada foi um valor próximo de 800 W/m^2, para a simulação foi considerado um índice de claridade médio de 0,55 e um albedo de 0,26 e o sistema de aquecimento era formado por dois coletores solares de 1,7 m^{2}de área cada totalizando uma área de capitação solar de

3,4 m^2. A eficiência do conjunto de coletores solares é dependente do tipo de arranjo, vazão através dos tubos e das temperaturas de entrada para os módulos individuais (DUFFIE e BECKMAN, 1991).

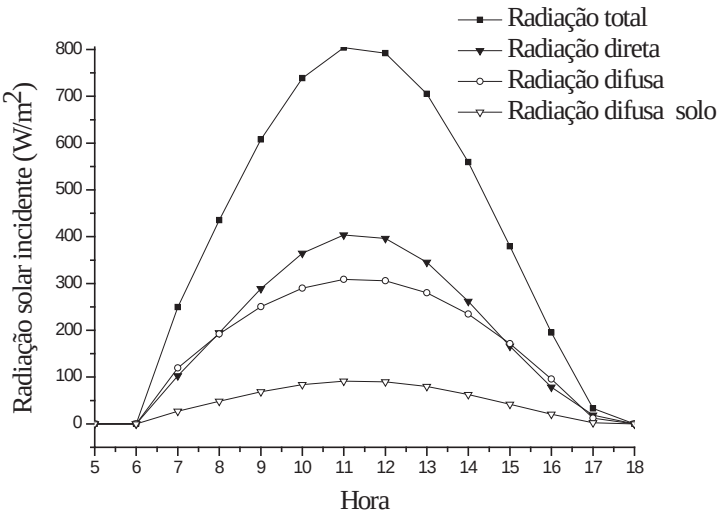


Figura 3 - Radiação solar incidente no coletor plano no dia 15/06/2011 simulado

Na Figura 4 foi verificado a influência da vazão da água no processo de aquecimento, permitindo, deste modo, obter a melhor vazão que proporciona-se maiores gradientes de temperatura da água, de acordo com os dados simulados, observou-se que quando a vazão aumenta a água atinge menores temperaturas, consequentemente, teremos maiores eficiência do coletor devida a diminuição das perdas térmicas, como pode ser observado na Figura 5, estando de acordo com (Duffie e Beckmann, 1991), deste modo a vazão escolhida para que a água fique circulando entre o boiler e o coletor solar até atingir temperatura superior a 80 ºC deve ser menor que 2 l/min.

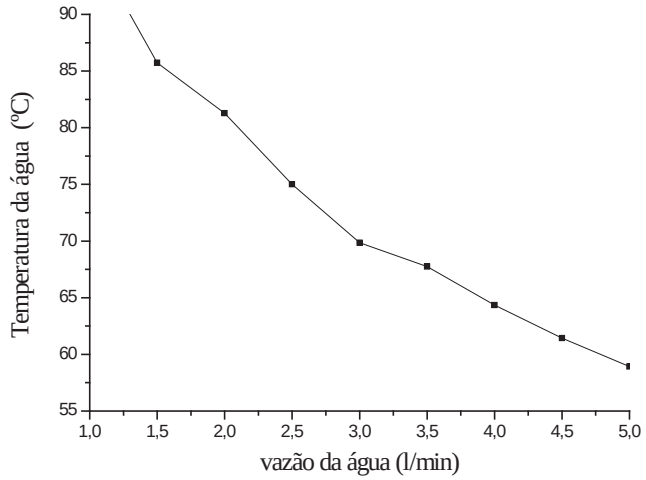


Figura 4 - variação da temperatura da água no reservatório com a vazão.

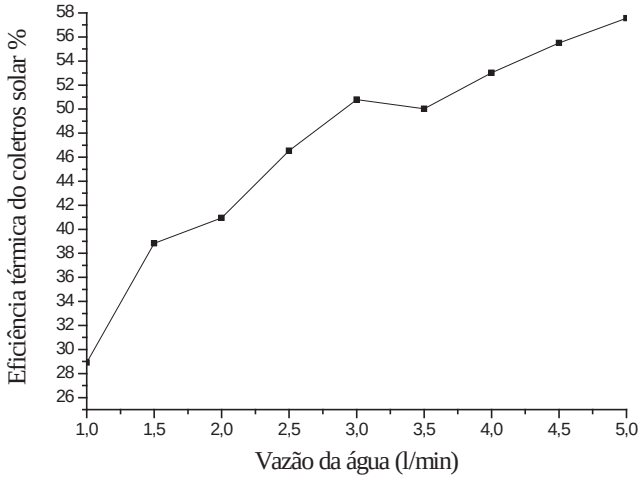


Figura 5 - Variação da eficiência do coleto solar com a vazão

CONCLUSÃO

O código computacional desenvolvido foi utilizado para verificar a influência que a vazão e a temperatura do fluido térmico exercem na eficiência do coletor solar, podendo desta forma prever as melhores condições de funcionamento do sistema de aquecimento de água para obter um maior desempenho. O modelo computacional foi inicialmente validado através da comparação com resultados experimentais obtidos por (Souto, 2009) e os obtidos pela estação meteorológica, onde verificou-se que os resultados numéricos apresentaram concordância com os experimentos, mostrando uma boa representação dos fenômenos reais.

Os resultados obtidos através da simulação para o aquecimento de água mostraram que para o período do ano de menor incidência de radiação solar na cidade de João Pessoa - PB a radiação solar total para o dia escolhido foi de 800 W/m^2 conforme apresentado na Figura 3. Um coletor solar com área de captação de energia solar de 3,4 m^2, o fluido térmico deve circular pelo coletor a uma vazão inferior a 1,5 l/min para que alcance temperaturas superior a 80 ºC para o dia do ano simulado como apresentado na Figura 4 mostrando que quando menor a vazão maiores gradientes de temperaturas obteremos no coletor, por outro lado com o aumento da vazão a eficiência térmica instantânea do coletor aumenta, pois a diferença de temperatura no coletor diminui, sendo esta inversamente profissional a eficiência térmica como pode ser verificado na Figura 5. Desta forma observou-se que a vazão da água e de grande importância para o desempenho do coletor devendo o mesmo, ser um valor intermediário que proporcione uma boa eficiência ao coletor e uma alta taxa de transferência de calor ao fluido térmico.

REFERÊNCIAS

LIMA, J. B. A. Otimização de sistema de aquecimento solar de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa TRNSYS. 2003. 123p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

DUFFIE, J.A., BECKMAN, W.A., Solar engineering of thermal processes. 2° Ed. New York: John Wiley & Sons, 1991.

COLLARES-PEREIRA, M., RABL, A. The average distribution of solar radiation correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. Solar Energy, V. 22, p. 155 - 164, 1979.

FAIDEMRAICH,Naum;LYRA, Fancisco. Energia solar: Fundamentos e tecnologia de conversão heliotermica e fotovoltaica. Recife: Universitária da UFPE, 1995.

OLIVEIRA,R.G.;SILVEIRA,JR.V.;WANG,R.Z. "Experimental study of mass recovery adsorption cycles for ice making at low generation temperature". v.26, p.303-311,2006.

SOUTO, WESLEY DE ALMEIDA, 'Desenvolvimento de um sistema Automatizado de levantamento de desempenho de coletor solar plano' tese (Doutorado) – UFPB – CT João Pessoa-PB, 2009.

INCROPERA, F.P AND DEWITT, D.P., Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Wiley e Sons, 5ª Ed., 2003.

MODELO DE ANÁLISE DE VIBRAÇÕES EM TORRES DE TURBINAS EÓLICAS

Anderson dos Santos DIAS (1); Francisco Frederico Santos MATOS (2).
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Av. Contorno Norte, 10 - Parque Central Distrito Industrial - Maracanaú - Ce, Cep:61925-315, Fone: (85) 3878.6300 - Fax: (85) 3878.6311, e-mail: (1) asdias7@gmail.com; (2) ffsmatos@ifce.edu.br.

RESUMO

Nos últimos anos, com a implantação do conceito de sustentabilidade pelas políticas públicas, o desenvolvimento de uma matriz energética renovável tornou-se prioridade para o crescimento do país. Uma das principais fontes renováveis adotadas para suprir o fornecimento de eletricidade é a energia eólica. Com o grande aumento do número de parques eólicos no Brasil, o projeto e o desenvolvimento dos aerogeradores vêm se tornando cada vez mais necessários. Nessa área, são varias as fontes de pesquisa e uma das mais importantes são os esforços mecânicos aos quais os aerogeradores são submetidos. A vibração, provocada pelo vento, constitui-se em um dos principais causadores de esforços, que em níveis severos pode comprometer a integridade das instalações e a funcionalidade dos equipamentos. A amplitude da mesma pode alcançar valores bem maiores caso a excitação esteja na mesma frequência do sistema mecânico que constitui o aerogerador. O presente estudo contempla a simulação computacional, utilizando um modelo analítico baseado na teoria da vibração, para avaliar a segurança das instalações de turbinas eólicas, onde se pretende oferecer soluções que evitem a ressonância do sistema. Foi utilizado o software Matlab para implementação dos algoritmos computacionais, permitindo a representação gráfica da vibração da torre. Os resultados obtidos ressaltam a importância que deve ser dada à frequência ressonante como parâmetro de projeto, a fim de evitar perdas materiais e riscos de acidentes.

Palavras-chave: Aerogerador, Vibração Mecânica, Ressonância.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a energia eólica vem se tornando uma das fontes de geração elétrica mais promissoras. O seu sucesso se dá por ser uma fonte renovável que não agride o meio ambiente e pelo avanço da tecnologia empregada nas turbinas, que vem fazendo delas cada vez mais eficientes e mais baratas. Uma das principais técnicas utilizadas no seu aprimoramento é o ensaio de fadiga, que é uma parte essencial no desenvolvimento de novas formas aerodinâmicas e estruturais de aerogeradores (FILHO, SANTOS, SOMIONI, *et al.*, 2010).

As turbinas eólicas ao longo de sua vida útil são sujeitas a uma gama de esforços, os quais são complexos de serem reproduzidos com exatidão em qualquer experimento laboratorial. Um exemplo disso é a vibração, que está presente em qualquer sistema mecânico sujeito à esforços variantes. Naturalmente, as estruturas projetadas para apoiar máquinas centrífugas pesadas como motores e turbinas, ou máquinas alternativas, também estão sujeitas a vibrações. Nesse caso, a estrutura ou componente sujeito à vibração pode falhar devido à fadiga do material, que é resultado da variação cíclica da tensão induzida (RAO, 2008). Outro problema muito frequente é a excitação na frequência natural de um sistema mecânico. Esse tipo de problema também é conhecido como ressonância, que ocorre quando uma força é induzida na mesma frequência natural de um sistema, provocando oscilações perigosamente grandes que podem levar ao colapso do equipamento. Essas excitações, segundo HAU (2006), podem ser provocadas pela:

- Força de arrasto do vento;
- Desequilíbrio de massa das pás do rotor.

Neste trabalho foi realizado um estudo analítico da vibração em estruturas de aerogeradores, visando evitar que a frequência natural do mesmo seja excitada pelos esforços induzidos pelo vento.

2. MODELAGEM MATEMÁTICA

Sabe-se que o vento apresenta uma característica natural de ser variável no tempo e no espaço, em função da situação geográfica do local, da rugosidade da superfície, do relevo, da vegetação, do clima e da época do ano. Por conta disso, é gerada uma força induzida variante na estrutura da turbina. Essa força pode ser decomposta em duas componentes: uma atuante na mesma direção do vento, denominada de *força de arrasto* F_D; e outra perpendicular, denominada de *força de sustentação* F_L. Podem ser encontradas através das equações:

$$F_D = \frac{1}{2}\,\rho u^2 A C_D \qquad \text{[Eq. 1]}$$

$$F_L = \frac{1}{2}\,\rho u^2 A C_L \qquad \text{[Eq. 2]}$$

em que A é a área projetada da turbina na seção transversal ao vento e ρ a massa especifica do ar. O coeficiente de arrasto C_D e o coeficiente de sustentação C_L são caracteristicas da geometria da turbina. Seus valores são obtidos através de ensaios e medidas exaustivas efetuadas em túnel de vento, porém podem ser aproximados por coeficientes obtidos de geometrias conhecidas (CASTRO, 2009). A velocidade u é obtida de medições do vento.

O desbalanceamento nas massas das pás da turbina também é um dos grandes causadores de vibração, que comprometem a vida útil da torre com o passar do tempo. Seu comportamento é fácil de ser descrito, já que ele corresponde a uma força variante, que apresenta a mesma frequência do giro da hélice da turbina. A amplitude do sinal irá depender do grau do desequilíbrio das pás.

O comportamento vibratório de uma turbina pode ser descrito de maneira simplificada considerando um sistema massa-mola de apenas um grau de liberdade, como mostra a figura 1. Sua modelagem pode ser feita através da equação do movimento obtida da segunda lei de Newton, como descrita na Eq. 3, onde $F_D(t)$ é a força atuante sobre a massa m do sistema em função do tempo, k é a rigidez elástica da torre e c é o coeficiente de amortecimento (ALHAMAYDEH, 2010):

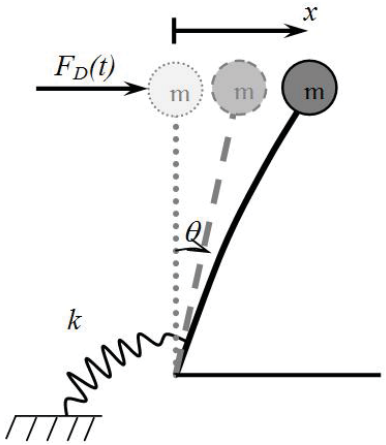


Figura 1 - Modelo com apenas um grau de liberdade.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_D(t) \qquad \text{[Eq. 3]}$$

Para a representação da função forçante periódica, será utilizado o somatório de funções harmônicas, que indica a aleatoriedade do vento. A resposta do sistema pode ser determinada pela superposição das respostas às funções forçantes harmônicas individuais. Para uma função $F_D(t)$ com período $\tau = 2\pi/\omega$, ela pode ser expandida em uma série de Fourier [Eq. 4]:

$$F_D(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{j=1}^{\infty} a_j \cos j\omega t + \sum_{j=1}^{\infty} b_j \operatorname{sen} j\omega t \qquad \text{[Eq. 4]}$$

onde,

$$a_j = \frac{2}{\tau}\int_0^{\tau} F_D(t)\ \cos\ j\omega t\, dt, \quad b_j = \frac{2}{\tau}\int_0^{\tau} F_D(t)\ \operatorname{sen}\ j\omega t\, dt, \quad j = 0, 1, 2, \ldots \qquad \text{[Eq. 5]}$$

Através da superposição de cada termo da função com a equação de movimento do sistema, podemos chegar à contribuição de deslocamento em regime permanente $x_p(t)$ relativa a cada uma das componentes excitatórias:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = \frac{a_0}{2} \qquad \text{[Eq. 6]}$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = a_j \cos j\omega t \qquad \text{[Eq. 7]}$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = b_j \operatorname{sen} j\omega t \qquad \text{[Eq. 8]}$$

A solução da [Eq. 6], que representa a parcela constante do vento, é dada por

$$x_p(t) = \frac{a_0}{2k} \qquad \text{[Eq. 9]}$$

e expressar as soluções das equações [Eq. 7] e [Eq. 8], respectivamente, como

$$x_p(t) = \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(a_j/k)}{\sqrt{(1 - j^2r^2)^2 + (2\zeta jr)^2}} \cos\ (j\omega t - \phi_j) \qquad \text{[Eq. 10]}$$

$$x_p(t) = \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(b_j/k)}{\sqrt{(1 - j^2r^2)^2 + (2\zeta jr)^2}} \operatorname{sen}\ (j\omega t - \phi_j) \qquad \text{[Eq. 11]}$$

onde

$$\left.\frac{}{}\right) \quad \text{[Eq. 12]}$$

,

$$r = \frac{\omega}{\omega_n} \quad \text{[Eq. 13]}$$

,

$$\zeta = \frac{c}{c_c} \quad \text{[Eq. 14]}$$

e

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \text{[Eq. 15]}$$

A resolução completa do deslocamento em regime permanente $x_p(t)$ para a força do vento representada por uma série de Fourier é dada por

$$x_p(t) = \frac{a_0}{2k} + \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(a_j/k)}{\sqrt{(1 - j^2r^2)^2 + (2\zeta jr)^2}} \cos(j\omega t - \phi_j) + \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(b_j/k)}{\sqrt{(1 - j^2r^2)^2 + (2\zeta jr)^2}} \operatorname{sen}(j\omega t - \phi_j) \quad \text{[Eq. 16]}$$

Através da Eq. 16, podemos descrever o comportamento da vibração na turbina e diagnosticar possíveis problemas de ressonância. Segundo Rao (2008), a rigidez elástica k da torre pode ser calculada através da seguinte equação:

$$k = \frac{3EI}{l^3} \quad \text{[Eq. 17]}$$

sendo que E é o módulo de Young (característica do tipo de material utilizado na fabricação), I é o momento de inércia da seção transversal da torre e l é a altura da mesma. O momento de inércia para uma seção circular da torre é calculado como mostra a Eq. 18, onde d_0 é o diâmetro externo e d_i é o diâmetro interno da mesma.

$$I = \frac{\pi}{64}\left({d_0}^4 - {d_i}^4\right) \quad \text{[Eq. 18]}$$

3. RESULTADOS

Com base na metodologia descrita na sessão anterior foi desenvolvido um algoritmo no Matlab para calcular a resposta vibratória da torre eólica. O algoritmo desenvolvido tem como sinal de entrada a força do vento (representada por uma série de Fourier) e como saída o comportamento vibratório do sistema. Foi adotada a representação dos gráficos no domínio da frequência para melhor compreensão dos resultados. Os valores utilizados na simulação (ver Tabela 1) foram baseados na turbina eólica de eixo horizontal da Siemens SWT-2 3-93, que são:

Tabela 1 – Parâmetros da Simulação.

Parâmetros	Valor	Símbolo	Unidade
Altura da torre	80	l	m
Diâmetro externo da Torre	4,5	d_0	m
Diâmetro interno da Torre	4.35	d_i	m
Massa da Nacele	82.000	m	kg

Módulo de Young	172[1]	E	GPa

Aplicando esses parâmetros nas equações 15, 17 e 18 demostradas anteriormente, obtemos a frequência natural ω_n do sistema, sendo de 5,6011 Rad/s ou 0,8914 Hz.

Para excitar a torre foi utilizado um sinal artificial de vento que apresenta uma redução exponencial da amplitude em seu espectro com o aumento da frequência, ver Figura 2.

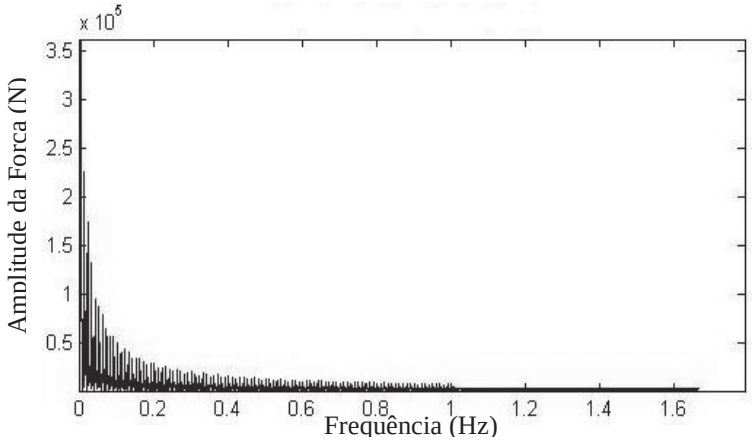


Figura 2 – Espectro de Frequência da Excitação.

A resposta do sistema para essas configurações pode ser observada na figura 3, onde existe um pico com amplitude predominante na frequência de 0,89 Hz, com valor de aproximadamente 0,6 m. Em uma situação real esse sinal indicaria um grave problema, já que a amplitude do sinal pode atingir valores bem maiores, que pode levar a falhas catastróficas, com perdas financeiras e principalmente risco de acidentes fatais.

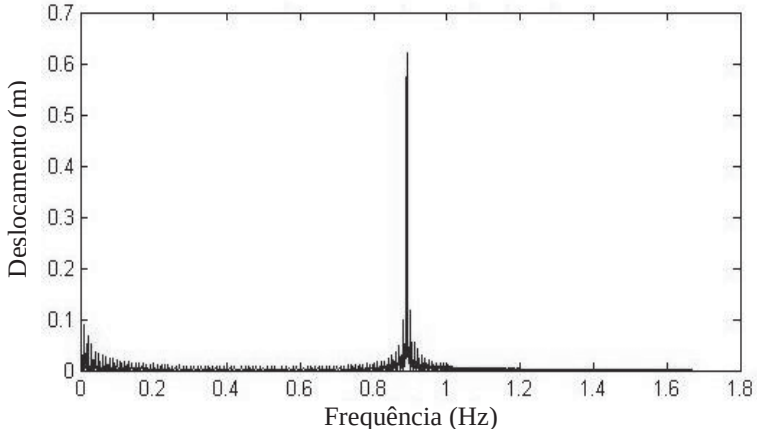


Figura 3 – Espectro de Frequência da Torre em Ressonância.

Para evitar esse tipo de problema, é necessária a alteração de alguns de seus parâmetros de projeto, onde a frequência natural do sistema se eleve, impossibilitando que a mesma seja excitada pelo vento. Propomos dois métodos para que isso seja realizado:

- Aumentar a espessura da parede da torre (tendo como desvantagem o encarecimento na sua fabricação);
- Diminuir a altura da torre (sua consequência seria uma redução na potência máxima gerada na turbina, já que o vento tem maior intensidade em elevadas altitudes).

[1] Valor referente ao aço estrutural.

1º CASO: Alterando o valor do diâmetro interno para 4,2 m, onde teremos agora uma parede de 150 mm de espessura. Recalculando a frequência natural encontramos 7,72 Rad/s ou 1,23 Hz que já está fora da faixa de interação com o vento.

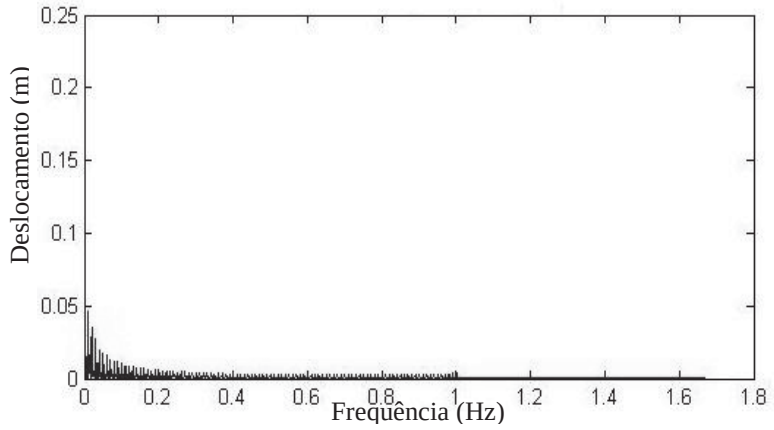


Figura 4 – Espectro de Frequência da Torre para d_i de 4,2 m.

2º CASO: Diminuindo a altura da torre para 60 m. Sua frequência natural também teve um aumento para 8,62 Rad/s ou 1,37 Hz que está livre da faixa de interação com o vento.

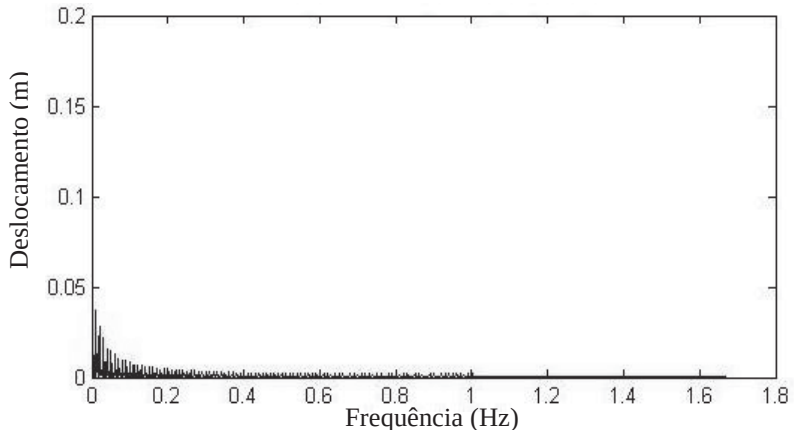


Figura 5 – Espectro de Frequência da Torre para altura de 30 m.

Outra solução que pode ser aplicada é a redução no valor de ambos os parâmetros, evitando uma elevação expressiva no custo de fabricação e perda excessiva na potência máxima da turbina.

4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que um dos principais fatores que devem ser levados em consideração na hora de projetar uma turbina eólica é o valor das frequências ressonantes, que devem ser mantidos fora da sua faixa de trabalho. Se por acaso, esses valores não forem considerados, as consequências podem ser graves, que podem levar a destruição do aerogerador, provocando um grave prejuízo, além de riscos à vida em acidentes fatais.

O modelo matemático adotado na metodologia da pesquisa mostrou-se satisfatório para o cálculo da resposta para um sistema de apenas um grau de liberdade. Essas equações servirão de base para o desenvolvimento de um modelo mais robusto, que fará a análise do comportamento vibratório em sistemas mecânicos com vários graus de liberdade. Será incorporado também as características do solo local e o tipo de fundação, que influenciará diretamente no valor de rigidez mecânica da torre eólica.

O próximo passo será a comparação dos resultados obtidos analiticamente, com modelos de elementos finitos, que já são largamente utilizados em análise estrutural.

REFERÊNCIAS

ALHAMAYDEH, M.; HUSSAIN, S. *Optimized frequency-based foundation design for wind turbine towers utilizing soil–structure interaction.* J. Franklin Inst. (2010), doi:10.1016/j.jfranklin.2010.04.013

CASTRO, R. M. G. *Introdução à Energia Eólica.* 4. ed. Lisboa: DEEC / Área Científica de Energia, 2009.

FILHO, J. G. A.; SANTOS, C. A.; SOMIONI, G. S.; ALÉ, J. A. V. *Procedimentos Laboratoriais para Ensaios de Esforços Cíclicos em Pás de Aerogeradores de Pequeno Porte*. In: 6° Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2010, Campina Grande. Anais do 6° CONEM, 2010.

HAU, E.; *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics*. 2. ed. Berlin: Springer, 2006. 400 p. ISBN - 10 3-540-24240-6.

RAO, S. S. *Vibrações Mecânicas*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. Tradução de: Arlete Simille.

SIEMENS, *Outstanding efficiency: Siemens Wind Turbine SWT-2.3-93*. Disponível em: <http://www.energy.siemens.com/br/pool/hq/power-generation/wind-power/E50001-W310-A102-V6-4A00_WS_SWT-2.3-93_US.pdf> Acesso em: 11 jul. 2011.

AGRADECIMENTO

Agradecemos ao programa PIBIC/CNPq pela concessão da bolsa de pesquisa e a consequente oportunidade de realizar este trabalho.

POTENCIAL ENERGÉTICO DO CEARÁ NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR MEIO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

SILVA, F. C. A. Autor[1] , SILVA, J. H. R. Autor[2] e Freitas E. D. G. Autor[3]
[1]Instituto Federal do Ceará - Campus Cedro, [2]Instituto Federal do Ceará – Campus Cedro
e [3]Instituto Federal do Ceará – Campus Cedro
emailcamilo@ifce.edu.br – emailjhribeiro@ifce.edu.br – emaildiego@ifce.edu.br

RESUMO

A grande crise energética vivenciada no mundo trouxe átona de forma significativa às energias alternativas como a energia eólica e a fotovoltaica, ou seja, a geração de energia elétrica através dos ventos e radiação solar respectivamente. Ambas abundantes na natureza e são meios para auto-sustentabilidade da sociedade mundial podendo ser explorada sem causar grandes danos, dentre a funcionalidade do meio ambiente na questão do setor energética global o Sol é principal fonte de energia primária, essencial para a existência de vida na Terra e também primordial na geração de energia elétrica ou térmica utilizando um sistema fotovoltaico.

Energia alternativa pouco explorando pelos países desenvolvidos e subdesenvolvidos por tratar-se de uma tecnologia de implantação com valores de aquisição de equipamentos com custos ainda bastante elevados com relação às outras formas de geração de energia elétrica ou térmica. O princípio está baseado no efeito fotovoltaico, graças aos estudos do cientista Edmond Becquerel no ano de 1839 que se fundamentava na diferença de potencial de um material semicondutor nas suas extremidades, produzida pela absorção da luz. Com o avanço da tecnologia atualmente as células fotovoltaica são produzidas com um material semicondutor no caso o silício é utilizado por ser mais abundante na natureza, extraindo e em seguida purificada para retirar impurezas e passando pelo processo de dopagem no laboratório, ou seja, onde são adicionados intencionalmente elementos químicos trivalentes e pentavalentes da origem as células fotovoltaicas. Através da célula é possível a captação e conversão da radiação solar em energia elétrica ou térmica, minimizando os efeitos dos impactos ambientais. Diferentemente de outras formas de geração de energia elétrica predominante mundos que causam grandes impactos a fauna e flora como exemplos as hidroelétricas, usinas nucleares, termoelétrica que usam carvão ou bagaço da cana de açúcar, dentre outros. Brasil encontra-se em situação privilegiada por localizar abaixo da linha do equador onde a radiação solar é mais farta.

No país há uma incidência de radiação solar acima de 2500 horas/ano, a conversão tanto do calor como da luz em energia, despontam com condições muito maiores do que a Europa, pois a mesma registra em média de insolação abaixo de 2400 horas/ano. O país obtém formidáveis condições climáticas e uma extensão territorial para favorece o aproveitamento das energias renováveis e também por causa da alta tarifa cobrada pelas concessionárias do setor elétrico contribuindo para uma maior disseminação da energia solar e eólica, proporcionando e concretizando um desenvolvimento mais sustentável no país. O estado do Ceará tem um enorme potencial energético no campo de energias alternativas, fotovoltaica e eólico. Por localiza-se no litoral do país propício as radiações solares e ventos de maior intensidade durante o ano todo. Setor governamental cearense vem incentivando em junto com empresas privadas a elaboração de um planejamento na geração de energia renováveis, tendo

como ações e metas as instalações e gerenciamento de parques eólicos, usinas de energia solar e indústria de fabricação de células fotovoltaicas.

Palavras-chave: Sistema Fotovoltaico, Radiação Solar, Energias Alternativas

1. INTRODUÇÃO

A preocupação mundial com o meio ambiente hoje é uma realidade, a exploração descontrolada dos recursos naturais é evidente, a natureza está respondendo a humanidade com vários fenômenos climáticos causando diversos prejuízos econômicos e o pior provocando bastantes mortes nos cinco continentes. Esses acontecimentos poderiam ser evitados ou minimizados com políticas voltadas para preservação do meio ambiente e ainda desenvolvimento de novas tecnologias de produção de bens de consumo, geração de energia elétrica, construção civil, dentro outros.

Está temática alertou os setores de energia elétrica para as outras formas de geração, distribuição, transmissão de energia e também para o estudo da eficiência energética. As energias alternativas estão em plena ascensão nos programas de desenvolvimento sustentável dos países que adotaram uma nova postura sobre o equilíbrio do ecossistema planetário, essas formas de geração de energia elétricas alternativas que estão com maior ênfase são eólica e fotovoltaica.

As maiores potências na geração de energias renováveis no mundo, logo vêm os nomes da Alemanha, Estados Unidos e Espanha, pois detém a tecnologia de fabricação do processo de células fotovoltaico e demais equipamentos, controlador de carga e banco de baterias para o armazenamento de energia elétrica em corrente continua (CC), inversor de freqüência para transformar correntes continua em alternada para fechar o ciclo de funcionamento do sistema. As células fotovoltaicas podem ser monocristalina: barras cilíndricas de silício produzidas em fornos especiais, a sua eficiência é superior 12%; policristalina: blocos de silícios obtidos por fusão de silício puro em moldes especiais e a sua estrutura está separada entre cristais com eficiência menor que 12%; amorfos ou filme fino: por meio da deposição de camadas finas de silício ou outro semicondutor com superfície de vidro ou metal a eficiência varia entre 5% e 7%. O sistema precisa de outras variáveis para o seu funcionamento como tensão nominal, potência da carga e localização geográfica.

2. SISTEMA FOTOVOLTAICO NO NORDESTE

O Brasil possui um ótimo índice de radiação solar, principalmente no Nordeste, as regiões do semi-árido estão os melhores índices com valores típicos de 1752 a 2190 quilos watts hora por metro quadrado (Kwh/m^2) por ano de radiação incidente. Essas características colocam o país em vantagem com relação aos países industrializados no que tange a utilização da energia solar fotovoltaica. Analisar Tabela 1 que contém as radiações solares das capitais do Nordeste.

Tabela 1.: Média Anual de Insolação Diária do Nordeste

Capital	Média Anual de Insolação diária
Aracaju	7,95
Fortaleza	7,89
João Pessoa	7,96
Maceió	7,21
Natal	8,08

Recife	7,29
Salvador	6,90
São Luis	6,13
Teresina	7,32

Fonte: Altas Solarimétricos do Brasil

O mercado brasileiro é promissor e amplo para tecnologia fotovoltaico tanto para instalação usinas de energia solar ou térmica como fabricação em grande escala de células FV, a incerteza quanto à dimensão do mercado e também a investimentos inibe ampliação projetos de energias alternativas já existentes no país. A cada ano a tecnologia fotovoltaica reduzir custos de fabricação, instalação e manutenção do sistema por conta disseminação da informação e sensibilização dos setores governamentais e acadêmicos criação de órgãos específicos para auxiliar investidores e as pesquisas cientificas no âmbito nacional e internacional.

Energia solar fotovoltaica é uma alternativa concreta sócio-econômicas do Brasil em garantir energia elétrica para a população que moram em locais longe dos grandes centros econômicos do país, como a região Amazônica e setores rurais nos demais estados. Sendo que a distribuição e transmissão de energia elétrica convencional são inviável financeiramente ou geograficamente impossível. A necessidade de atender esse nicho do mercado proporcionou o aumento significativo da tecnologia com objetivo implantação e sucesso do Programa Luz para Todos – PLT do governo federal para fortalecer a igualdade social da nação.

O maior programa nacional de estímulo à energia solar fotovoltaica foi o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM foi estabelecido pelo Governo Federal brasileiro através de Decreto Presidencial de dezembro de 1994, com o objetivo de promover o suprimento de energia às comunidades rurais de baixa renda localizadas distantes da rede elétrica convencional.), considerado um dos maiores programas de eletrificação rural utilizando sistemas fotovoltaicos nos países em desenvolvimento (GALDINO & LIMA, 2002).

Com a unificação do Governo Federal, Estadual e Municipais para discussão de planos, programas, projetos, incentivos financeiro para instalação de usinas de energia solar em todo o país ao longo prazo garantirá um desenvolvimento sustentável, além de contribuir para diversificação do suprimento da demanda de energia elétrica e nos avanços da tecnologia dos sistemas fotovoltaicos.

A energia solar fotovoltaica no Brasil tem se beneficiado da atual situação mundial, pois apresenta condições favoráveis ao aproveitamento de fonte, não somente devido as condição climáticas, extensão territorial e alto preço da energia elétrica em determinadas regiões, em comparação com outros países, pela grande disponibilidade de recursos naturais, como silício, a matéria-prima primordial para fabricação das células fotovoltaicas.

3. POTENCIAL ENERGÉTICO FOTOVOLTAICO

3.1 Na região Nordeste

A região Nordeste do Brasil possui uma extensa territorial de 1.548.676 Km^2 tem um clima semi-árido predominante quente e seco com temperatura em média anual 27 ℃ e 2500 $horas/ano$ de insolação. É principalmente o Ceará que tem alto incidência da irradiação solar é cerca de 5,4 $Kwh/m^2/dia$ e um dos menores índices de nebulosidade e precipitação chuvosa do mundo, que coloca o Estado enfoco no cenário internacional na geração fotovoltaica (Ver Figura 1).

A concessionária do estado de energia elétrica está implantando a eletrificação rural através de sistema fotovoltaico, atendo uma exigência do governo com o Programa Luz para Todos com intuito de inclusão social e também facilitar a produção agrícola familiar a utilização da energia elétrica para bombeamento de água para as lavouras, iluminação residencial e pública dos setores rurais. Beneficiando 492 residenciais com uma potencia instalada de $30{,}74\ Kwp$, o sistema fotovoltaico instalados nas casas é composto por módulo, bateria ($105\ Ah/\ 12\ V$), com lâmpadas fluorescentes e controlador de carga. AS principais cidades são: Alto Santo, Apuiarés, Canindé, General Sampaio, Itapipoca, Pentecoste, Quixadá e São Gonçalo do Amarante.

O Governo do Ceará, empresas privadas internacionais e a concessionária de energia elétrica do estado baseado na potencialidade de incidência da radiação solar diária e a necessidade de cada vez mais na geração de elétrica de caráter sustentável, ou seja, limpa. O mesmo tem criado políticas de incentivados para investimentos financeiros na área de energias renováveis, regulamentou o Fundo de Incentivo à Energia Solar – FIES e Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará para Energias Renováveis – ADECE que são responsáveis planejar e gerenciar os avanços tecnológicos do setor com o intuito da isonomia das tarifas de energia elétrica predeterminante no país com a fonte de energia solar e Secretaria de Meio Ambiente do Ceará – SEMACE é órgão cabível no estudo e fiscalização dos possíveis impactos ambientais nas instalações de usinas de energia solar.

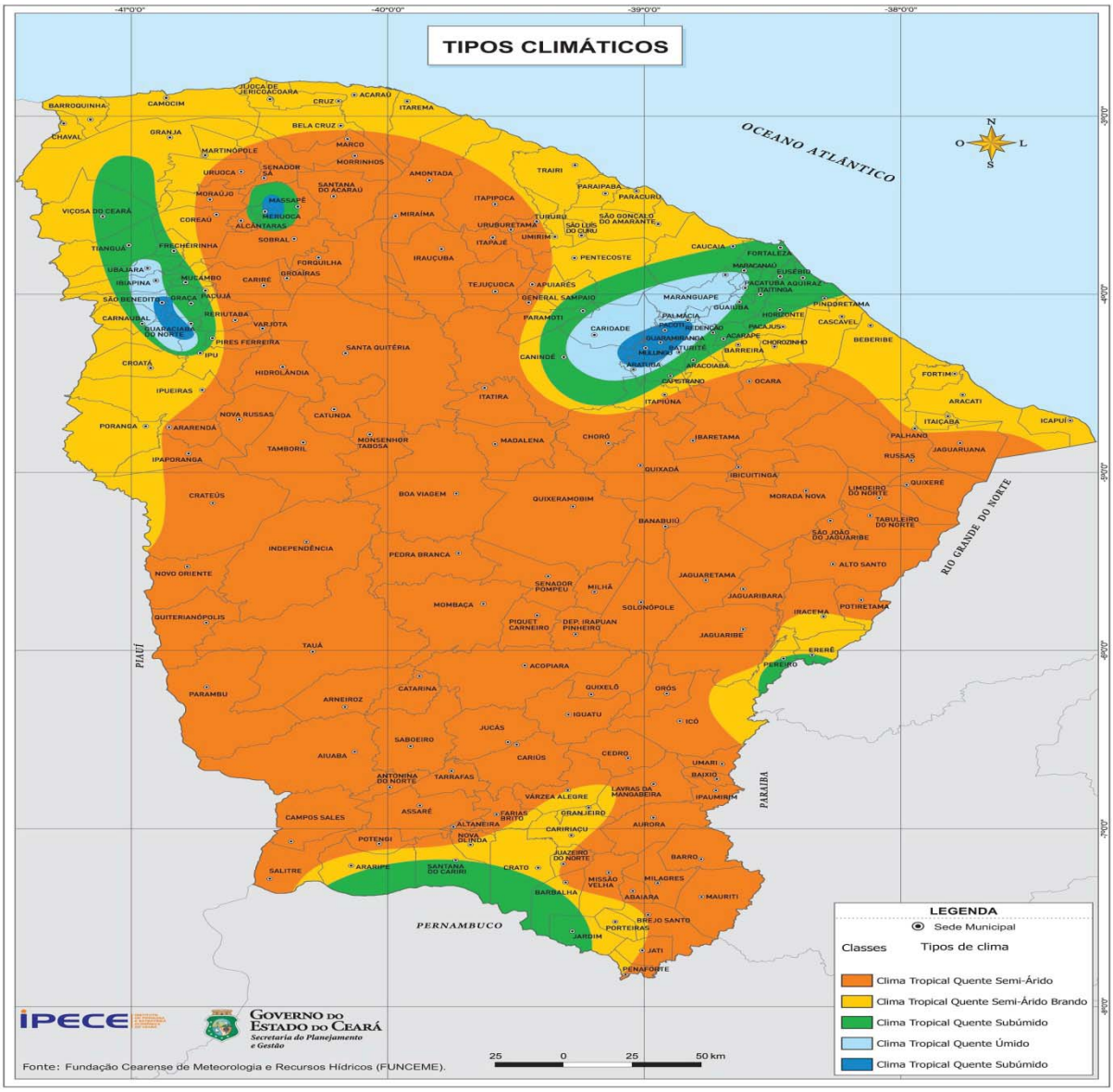


Figura 1.: Mapa Climática do Ceará.
Fonte: Fundação Cearense Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

3.2 Instalação da Usina de Energia Solar no Ceará

A primeira usina solar comercial do Brasil está em fase de teste desde 30 de junho em Tauá, a 344 km de Fortaleza. Segundo informações do grupo proprietário da usina, o EBX, a MPX Tauá tem capacidade inicial de gerar 1 megawatt, suficiente para abastecer 1,5 mil famílias.

O município, no Sertão dos Inhamuns, foi escolhido por causa da forte incidência solar ao longo do ano. A cidade também forneceu metade dos operários que fizeram a montagem da usina. Ainda segundo a empresa, a usina deve gerar 9 mil empregos diretos.

O grupo, do empresário Eike Batista, pretende aumentar a capacidade para chegar a produzir 5 megawatt. O EBX tem autorização da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e licença da Superintendência Estadual do Meio Ambiente (Semace) para fazer a expansão.

Atualmente a MPX Tauá tem uma área de 12 mil metros quadrados e 4.680 painéis fotovoltaicos, fabricados pela empresa japonesa Kyocera. Os painéis absorvem a luz do sol e a transformam em energia elétrica. A usina solar é ligada ao Sistema Interligado Nacional por meio de uma subestação da empresa distribuidora de energia do Ceará, a Coelce.

O investimento custou R$ 10 milhões e contou com aporte de US$ 700 mil do Banco Internacional de Desenvolvimento (BID). O Governo do Estado do Ceará incentivou o empreendimento com a criação do Fundo de Incentivo à Energia Solar (Fies). O Fies garante a compensação tarifária entre a energia elétrica solar e a energia elétrica convencional.

4. CONCLUSÃO

O aproveitamento da iluminação natural e do calor para aquecimento de ambientes, denominado aquecimento solar passivo, decorre da penetração ou absorção da radiação solar nas edificações, reduzindo-se, com isso, as necessidades de iluminação e aquecimento. Assim, um melhor aproveitamento da radiação solar pode ser feito com o auxílio de técnicas mais sofisticadas de arquitetura e construção.

O aproveitamento térmico para aquecimento de fluidos é feito com o uso de coletores ou concentradores solares. Os coletores solares são mais usados em aplicações residenciais e comerciais (hotéis, restaurantes, clubes, hospitais etc.) para o aquecimento de água (higiene pessoal e lavagem de utensílios e ambientes). Os concentradores solares destinam-se a aplicações que requerem temperaturas mais elevadas, como a secagem de grãos e a produção de vapor. Neste último caso, pode-se gerar energia mecânica com o auxílio de uma turbina a vapor, e, posteriormente, eletricidade, por meio de um gerador.

A conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre pelos efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Entre esses, destacam-se os efeitos termoelétrico e fotovoltaico. O primeiro caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, em condições específicas. No segundo, os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica, por meio do uso de células solares.

É importante ressaltar que mesmo as regiões com menores índices de radiação apresentam grande potencial de aproveitamento energético. Como se poderá observar nos próximos itens, existe uma infinidade de pequenos aproveitamentos da energia solar no Brasil, mas isso ainda é pouco significativo, diante do grande potencial existente. a radiação solar pode ser diretamente convertida em energia elétrica, por meio de efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores.

Entre os vários processos de aproveitamento da energia solar, os mais usados atualmente são o aquecimento de água e a geração fotovoltaica de energia elétrica. Desenvolver e elaborar conteúdos para Fenômenos de Transporte: mecanismos de transporte, fluidos newtonianos e não newtonianos, lei de Fourier; Equação de movimento, equação de Navier-Stokes, equação diferencial de energia, equação de continuidade para sistemas multi-componentes; Condução e difusão em sólidos; Transferência de calor e massa em regime laminar, quantidade de movimento, calor e matéria: modelos semi-empíricos; Camada limite laminar e turbulência; Métodos aproximaddos. Como um fator importante e crítico no apoio ao processo de modelagem matemática. Visando formar novos pesquisadores capazes de melhorar potencialmente as possibilidades para a criação de cenários de aprendizagem ligados as

engenharias. No Brasil, devido a características climáticas, nas regiões Norte e Nordeste, em comunidades isoladas da rede de energia elétrica.

REFERÊNCIAS BILIOGRÁFICA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023 : Informação e documentação: Referências: Elaboração. Rio de Janeiro, 2002a.

Atlas Solarimétricos do Brasil. Disponível em: <http://www.aneelgov.br/aplicacoes/altas/pdf/03-Energia-Solar(3).pdf> Acesso em: 09 set 2011.

DAY, R.A. Como escrever e publicar um artigo científico. 5. ed. São Paulo: Santos Editora, 2001.

FAUSTINO, F.G.; SILVA, G. C.; ALMEIDA, I. E. A. NASCIMENTO JÚNIOR, J. B. Design de interiores em habitações populares: estudo de caso em habitações do Conjunto Magabeira VII. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 1., 2006.

GALDINO, M. A. & LIMA, J. H. G. PRODEEM – O Programa Nacional de Eletrificação Rural Baseado em Energia Solar Fotovoltaica. CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Alétrica. Congresso Brasileiro de Energia, 2002.

_____. NBR10520: Informação e documentação: Citações em documentos: Apresentação. Rio de Janeiro, 2002b.

PREDIÇÃO DE FRATURAS PELO MÉTODO DA INTERFERÊNCIA GRAVIMÉTRICA

NERI, M. A. L.[1] e BATISTA, L. S.[2]
[1]Instituto Federal da Bahia - Campus Salvador e [2]Instituto Federal da Bahia – Campus Salvador
matheusneri@ifba.edu.br – lurimar@ifba.edu.br

RESUMO

Pesquisar o processo de surgimento e propagação de fraturas se faz fundamental dentro da Engenharia para incrementar o nível de segurança em projetos e a vida útil de estruturas. A inovação de técnicas não-invasivas de predição de falhas estruturais proporciona um melhor aproveitamento dos recursos na pesquisa em materiais. A utilização de métodos numéricos auxiliados por ferramentas computacionais mostrou-se, com o passar do tempo, extremamente eficaz em traduzir fenômenos físicos em dados, facilitando assim a interpretação e manipulação de resultados por meios de gráficos e tabelas. Aliando o estudo de falhas aos métodos matemáticos, foi desenvolvida uma modelagem que analisa a interferência gravimétrica com base na formulação integral do contorno de um grão anômalo contido em uma estrutura mecânica. O modelo desenvolvido simula o processo de surgimento e propagação de uma falha dúctil a partir dos microvazios formados em uma peça metálica sujeita a tração axial. A diferença entre as densidades da estrutura mecânica analisada e o grão anômalo contido na peça gera uma alteração no campo gravimétrico da estrutura, permitindo a detecção do surgimento de uma fratura antes que está esteja comprometendo a integridade física da peça. O foco da simulação é voltado ao processo de surgimento, crescimento e propagação de uma falha analisada pelo viés da interferência gravimétrica. O modelo utilizado simula o surgimento de microvazios em uma estrutura mecânica sujeita a tração em suas extremidades através de dados fornecidos pelo usuário. A simulação define um padrão para a predição de fraturas para o método da interferência gravimétrica e pode ser implementado para inspeção de equipamentos.

Palavras-chave: fratura, estrutura mecânica, interferência gravimétrica, modelagem.

1. INTRODUÇÃO

A fratura é um evento indesejado em todos os setores dentro da Engenharia por ser a responsável pela diminuição da vida útil de equipamentos e por colocar vidas em risco (CAJUHI; BATISTA, 2010). Para solucionar problemas é preciso ter o conhecimento acerca de suas causas, portanto o estudo do surgimento e propagação de falhas em estruturas é primordial. No início do século passado, com Griffith, iniciou-se o estudo sobre os primeiros fatores regentes da Mecânica da Fratura, que quantifica e relaciona as variáveis do fenômeno das falhas. Isto só foi possível devido à Mecânica dos Meios Contínuos que traz explicações específicas quanto ao comportamento dos materiais, relacionando forças internas (interatômicas), deformações e esforços externos aplicados ao corpo em equilíbrio (BRANCO, 1994).

Existem diversos meios para se estudar e entender fenômenos físicos, um deles é a aplicação de modelos matemáticos com simulações computacionais resultando em conhecimento mais prático e preciso. Com o auxílio de computadores esses estudos podem ser direcionados a diversas áreas, inclusive na detecção de descontinuidades em um meio homogêneo, como é o caso das fraturas. Uma metodologia eficaz, mas não tão difundido na engenharia é o método gravimétrico, que tem sido utilizado desde o início do século XX para detectar distorções no campo gravitacional da Terra devido às diferentes distribuições de densidades ao longo da crosta (SANCHES; BATISTA, 1999). Dentro da Engenharia Mecânica esta técnica pode ser aplicada, em escala apropriada, na detecção de fraturas em estruturas, auxiliando no estudo do surgimento da falha e em sua prevenção. O campo gravitacional devido a um sólido homogêneo anômalo, tridimensional e de forma arbitrária poliédrica pode ser expresso em termos das linhas de contorno que delimitam sua superfície e pela diferença entre as densidades da peça e dos grãos anômalos contidos em sua estrutura.

Falhas são defeitos que surgem em estruturas por diversos fatores: tensões, anisotropia do material, falta de planejamento da peça, má utilização, temperatura, ambiente etc. E podem assumir diversas formas que vão desde um desgaste ou perda de estabilidade até uma ruptura parcial ou total do material. Para evitar essas inconveniências, o estudo sobre o surgimento da falha se faz imprescindível. O estudo das fraturas é feito com base nas análises de trações uniaxiais em um material, mas podem haver outras formas de tensões (compressão, cisalhamento e torcional) que também ocasionam falhas. Cada material possui diferentes propriedades mecânicas (ductilidade, maleabilidade, dureza, etc.) e, portanto, apresentam diferentes formas de fratura. Geralmente, são observadas duas formas de fratura: dúctil, quando apresentam uma deformação plástica substancial com grande absorção de energia antes da fratura, ou frágil, quando apresentam pouca ou nenhuma deformação plástica com baixa absorção de energia. Entretanto, esses termos são relativos existindo uma possibilidade de um material normalmente dúctil falhar de maneira frágil (CALLISTER, 2000).

O processo de fratura envolve primeiramente a formação e posteriormente a propagação da trinca em resposta a imposição de uma tensão. O modo da fratura depende do mecanismo de propagação da trinca. A fratura dúctil é caracterizada pela extensa deformação plástica na vizinhança da trinca. É tida como uma trinca ''estável'', pois a falha aumenta lentamente em relação ao crescimento do comprimento, resistindo a um aumento adicional, a menos que se aumente a tensão aplicada. Para fratura frágil, as trincas tendem a se propagar rapidamente, com muito pouca deformação plástica, sendo consideradas como trincas ''instáveis'', pois seu aumento continua espontaneamente sem necessariamente aumentar a magnitude da tensão aplicada. As fraturas dúcteis são preferíveis pois é necessária uma quantidade maior de energia de deformação para induzi-las e é possível tomar medidas preventivas quando estas são detectadas.

A fratura dúctil de ligas metálicas tem lugar pela nucleação, fase em que surgem pequenas cavidades ou microvazios no interior da região em questão, crescimento, na direção perpendicular à

aplicação da tensão constante, e coalescência de microvazios durante a deformação plástica. Destas três fases, coalescência é aquele que governa o rompimento, no entanto, é a menos compreendida. A coalescência envolve dois processos distintos, em que os microvazios primeiro mudam seu modo de crescimento de tal forma que o ligamento entre os mesmos começa a entrar em colapso e posteriormente se ligam de fato. As ligações entre microvazios dependem da distribuição espacial, a fração de volume, força e propriedades da segunda fase do material (WECK; SEGURADO; LLORCA; WILKINSON; BOHM, 2008).

O desenvolvimento de uma regra de coalescência com base no estado de tensão e da geometria da microestrutura permitiu que a nucleação dos microvazios fosse diretamente ligada à fratura (BUTCHER; CHEN, 2011). A fratura finalmente ocorre pela rápida propagação da trinca por meio de deformação cisalhante em uma angulação aproximada de 45º em relação ao eixo de tração, ângulo no qual a tensão de cisalhamento é máxima, Figura 1.

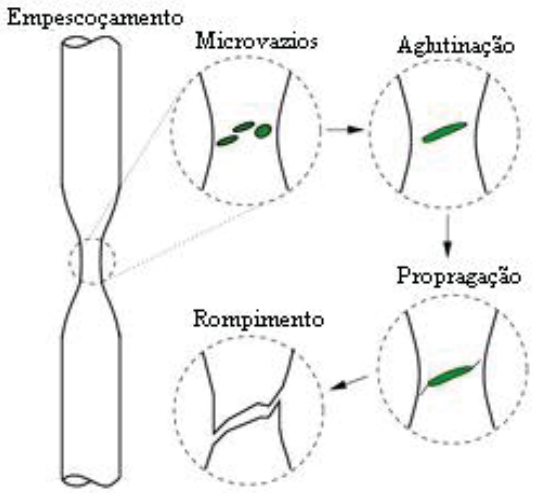


Figura 1 - Processo de surgimento e propagação de uma fratura frágil.

O objeto de estudo deste trabalho é a analise de múltiplos grãos simulando o surgimento, desde os microvazios, até o crescimento de uma fratura dúctil causada por tensões aplicadas nas extremidades de uma estrutura mecânica utilizando a metodologia da solução analítica do campo gravimétrico por integrais de linha. A importância dos resultados obtidos com essa modelagem é sua utilização de forma a complementar as técnicas de inspeção já existentes, auxiliando na prevenção de fraturas em equipamentos e estruturas da engenharia.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O estudo de fraturas e falhas estruturais pode ser abordado de diversas maneiras, sendo mais comum a utilização de métodos invasivos que envolvem aquecimento, lixamento e polimento de amostras para testar as propriedades mecânicas do material estudado. Entretanto, é possível um estudo aprofundado e condizente com a realidade através de formulações matemáticas e simulações computacionais dessas mesmas estruturas, em que a depender da finalidade dos estudos, alguns aspectos podem ser desconsiderados.

A utilização de uma metodologia que não cause danos a estruturas e possibilite o estudo adequado das propriedades do material levou ao desenvolvimento de um método que fosse eficiente e demonstrasse uma rapidez na exposição dos resultados. O método gravimétrico, utilizado na detecção de distorções de campos gravitacionais na crosta terrestre, pode utilizado, dentro da escala correta, para detecção de distorções em estruturas menores. Na literatura, é possível se detectar variações no campo gravitacional de áreas a serem estudadas através do potencial gravitacional das mesmas. O potencial gravitacional na direção cartesiana z (BUTKOV, 1968) é dado por:

$$g_z = G\rho \int_v \nabla \frac{1}{\vec{r}} dv \qquad \text{[Eq. 01]}$$

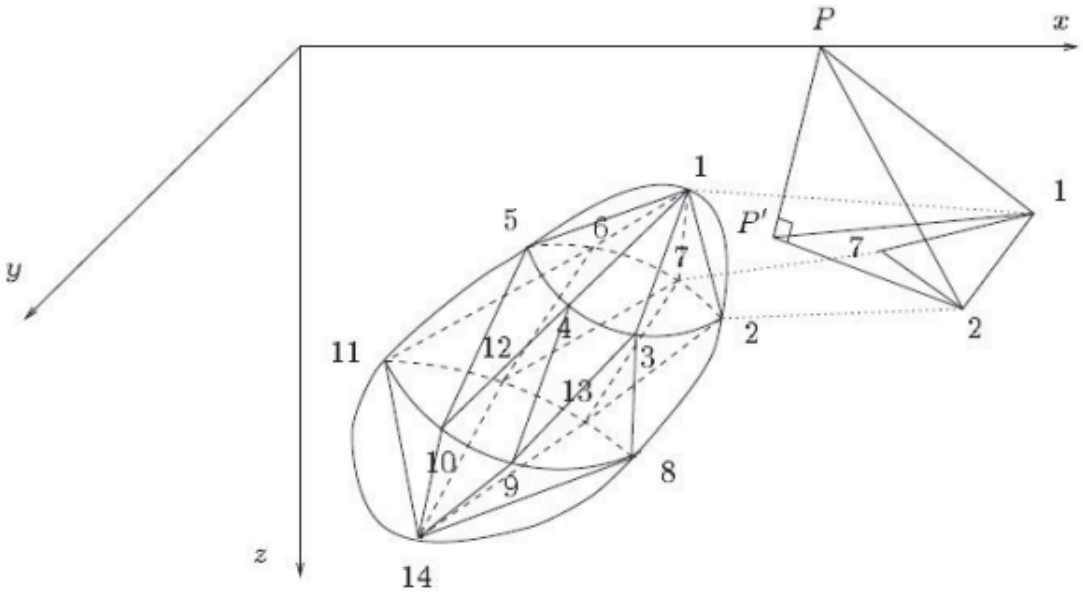


Figura 2 - Grão anômalo subdividido em elementos de geometria triangular.

A divisão do componente anômalo em elementos de geometria regular, Figura 2, permite o cálculo de g_z, conforme Eq. 02 e Eq. 03:

$$g_z = G\rho \sum_{i=1}^{k} \overrightarrow{n_i} \int_{S_i} \frac{ds}{\vec{r}} \qquad \text{[Eq. 02]}$$

$$g_z = G\,\rho \sum_{i=1}^{k} \overrightarrow{n_i} \cdot I_i \qquad \text{[Eq. 03]}$$

Onde k é o número de elementos e n_i é o versor normal a cada superfície do corpo. Utilizando o Teorema de Stokes (KREYSZIG, 1982) no campo gravitacional na Eq.(3), tem-se:

$$I = \int_{S_i} \frac{ds}{\vec{r}} = \oint_{S_i} \nabla \times \overrightarrow{F} \cdot \vec{n}\, ds = \oint_{l_i} \overrightarrow{F_l} \cdot dl \qquad \text{[Eq. 04]}$$

Concluímos então que, a partir da subdivisão do grão em função das linhas de contorno, $\vec{F}$ é uma função vetorial que satisfaz a igualdade e é expresso por:

$$\vec{F} = \overrightarrow{n_l} \times \left(\frac{\overrightarrow{R_\gamma}}{R_\gamma}\right) \cdot \left(\frac{r_j - v_i}{R_j}\right) \qquad \text{[Eq. 05]}$$

Onde *j* expressa o número de vértices; *i* representa cada segmento que discretiza o grão; v_i é a distância entre o ponto *P* e sua projeção no plano que contém a face; r_j representa o módulo do vetor posição do ponto *P* em relação a um dos lados do elemento discretizante; R_j é o módulo do vetor posição do ponto P_i em relação a um dos lados e R_γ expressa o vetor do plano que representa a superfícies da face.

Podemos assumir, através da base do sistema a ser trabalhado nos contornos do grão discretizado, Figura 3, as definições necessárias para a resolução da integral de contorno em questão.

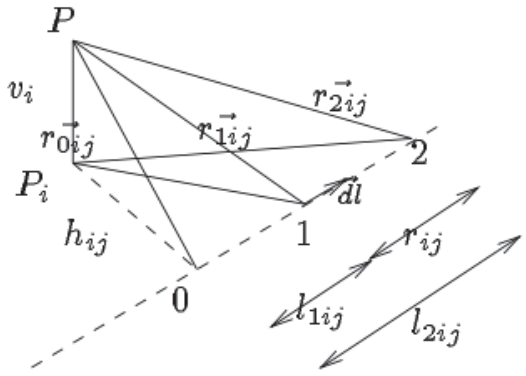


Figura 3 - Elementos geométricos que definem o contorno do grão.

Através dos elementos triangulares de contorno, assumimos que:

$$I_i = \int_{S_i} \frac{ds}{\vec{r}} = n_i \oint_{\partial S_i} \frac{h_{ij}\, dl}{r + v_i} \qquad \text{[Eq. 06]}$$

Cuja solução final é:

$$I_i = \left[h_i \log\left(\frac{r+1}{r_0}\right) - v_i \tan^{-1}\left(\frac{l\, h_{ij}}{r_0 + r\, v_i}\right)\right]_{l_1}^{l_2} \qquad \text{[Eq. 07]}$$

A interferência gravimétrica g_z é então calculada para cada elemento que define o contorno do grão.

3. METODOLOGIA

A modelagem foi desenvolve-se utilizando a solução analítica, Eq. 03 e Eq. 07, de modo que a interferência gravimétrica resultante fosse calculada com base nas linhas de contorno que delimitam o grão anômalo. Quando uma estrutura mecânica apresenta mais que um grão anômalo, existe uma interação gravimétrica entre as estruturas anômalas, causando alterações nos padrões de resultado.

Calcula-se a interferência gravimétrica para cada grão anômalo contido na estrutura com base no posicionamento da anomalia e na diferença de densidades entre a parte isentrópica e o grão analisado. O programa desenvolvido em linguagem C se utiliza de dados fornecidos pelo usuário para calcular a interferência, como o tamanho da estrutura mecânica analisada e a quantidade de grãos anômalos presentes. Para cada grão, é informado o contraste de densidade, as coordenadas dos pontos de topo e de base, o número de divisões para a criação das linhas de contorno e a distância entre os laços e o ponto de topo.

A soma das interferências de cada grão anômalo resulta em um gráfico tridimensional onde os eixos X e Y representam o tamanho da estrutura mecânica analisada, podendo esta assumir formas retangulares, enquanto o eixo Z apresenta os resultados da análise gravimétrica sobre a estrutura. No presente estudo, a análise é feita sobre a superfície da estrutura mecânica em questão, entretanto existem possibilidades de análise no interior ou acima dos limites da peça.

O modelo utilizado simula o surgimento de microvazios, ou grãos preenchidos com ar, em uma estrutura mecânica sujeita a tração em suas extremidades através de dados fornecidos pelo usuário, como contraste de densidade entre o grão e a estrutura, número de divisões em cada laço que contorna o grão, coordenadas do topo e da base do grão etc. Não são levados em consideração a intensidades das forças trativas ou o formato do corpo de prova. O foco da simulação é voltado ao processo de surgimento, crescimento e propagação de uma falha analisada pelo viés da interferência gravimétrica.

4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Inicialmente, a simulação da estrutura mecânica apresenta o processo de formação da fratura, fase de nucleação, onde os primeiros microvazios surgem, dando origem a grãos anômalos que causam a interferência na gravimétrica da peça por conta da diferença de densidades. O modelo demonstra a interferência causada pela presença de três grãos anômalos, Figura 4, contidos em uma estrutura mecânica cúbica de 500 cm de aresta.

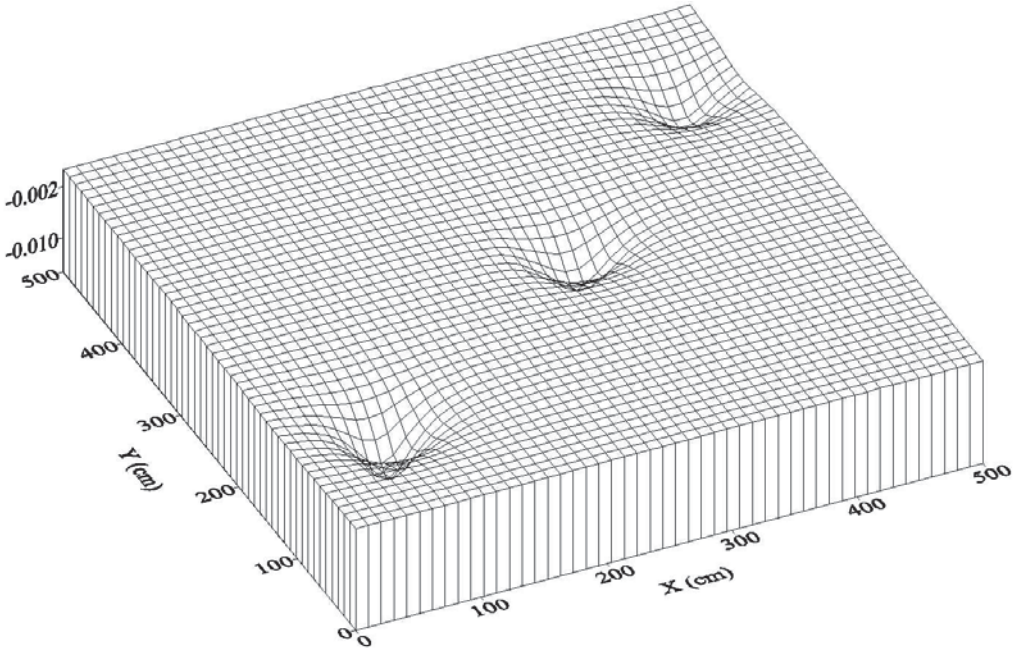


Figura 4 – Simulação da Fase de Nucleação com três grãos anômalos.

Em um segundo momento, a aplicação constante da força trativa leva a contínua formação de novos grãos anômalos ao longo da estrutura, que aumentam a interferência gravimétrica na região, mas ainda sem comprometer a integridade estrutural da peça. O modelo neste segundo estado apresenta-se com nove grãos anômalos, Figura 5, e pode-se perceber a multiplicação dos microvazios à medida que a tensão continua a ser aplicada.

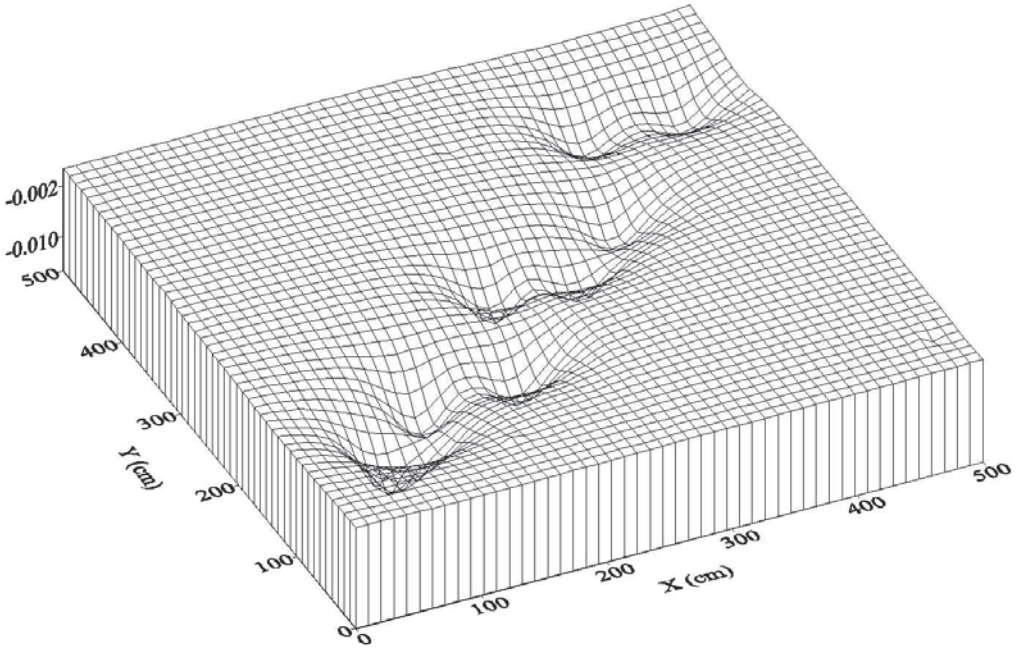


Figura 5 – Simulação da Fase de Nucleação com nove grãos anômalos.

A partir de certo instante, o surgimento de novos grãos coincide também com a fase de coalescência, onde os grãos já existentes se aglutinam aos que estão próximos, aumentando consideravelmente a interferência gravimétrica na peça e começando a danificar, sem necessariamente trincar, a estrutura mecânica em questão. O modelo em fase de coalescimento apresenta a interferência gravimétrica da presença de dezessete grãos anômalos, Figura 6.

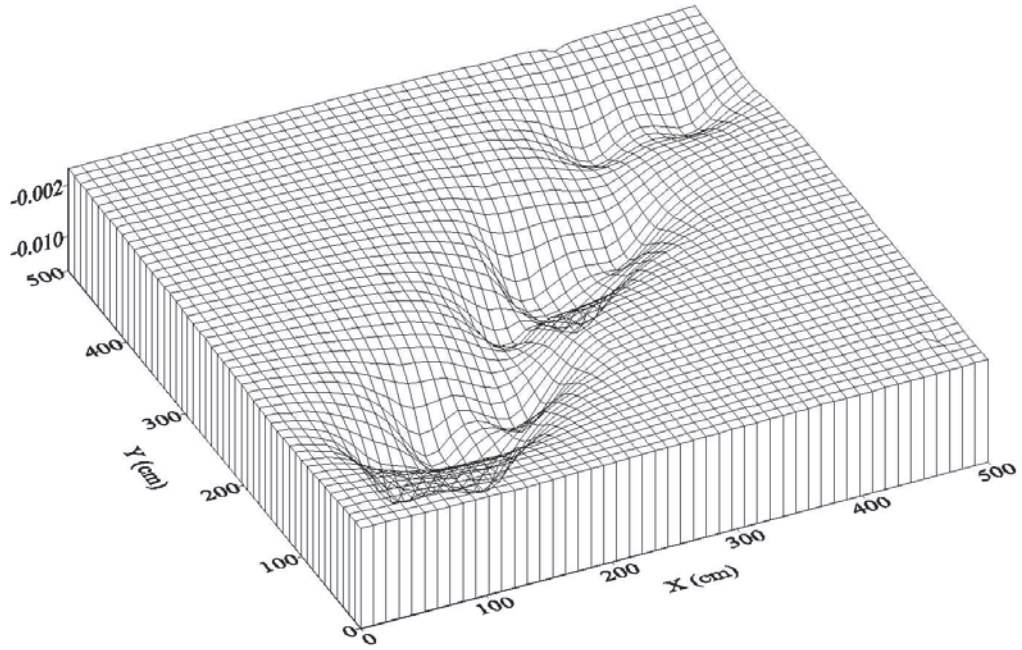


Figura 6 - Simulação da Fase de Coalescimento.

Finalmente, o processo de surgimento de novos grãos aliado ao processo de coalescimento, danificam a estrutura a tal ponto que a trinca se alastra sobre o corpo de prova provocando assim o rompimento da mesma. Em um último estágio simulado, o modelo apresenta a interferência gravimétrica de uma trinca formada pela combinação e interação de vinte e oito grãos anômalos, Figura 7, e é possível visualizar a deformação do campo gravitacional da estrutura mesmo que a trinca não esteja localizada na superfície da peça em questão.

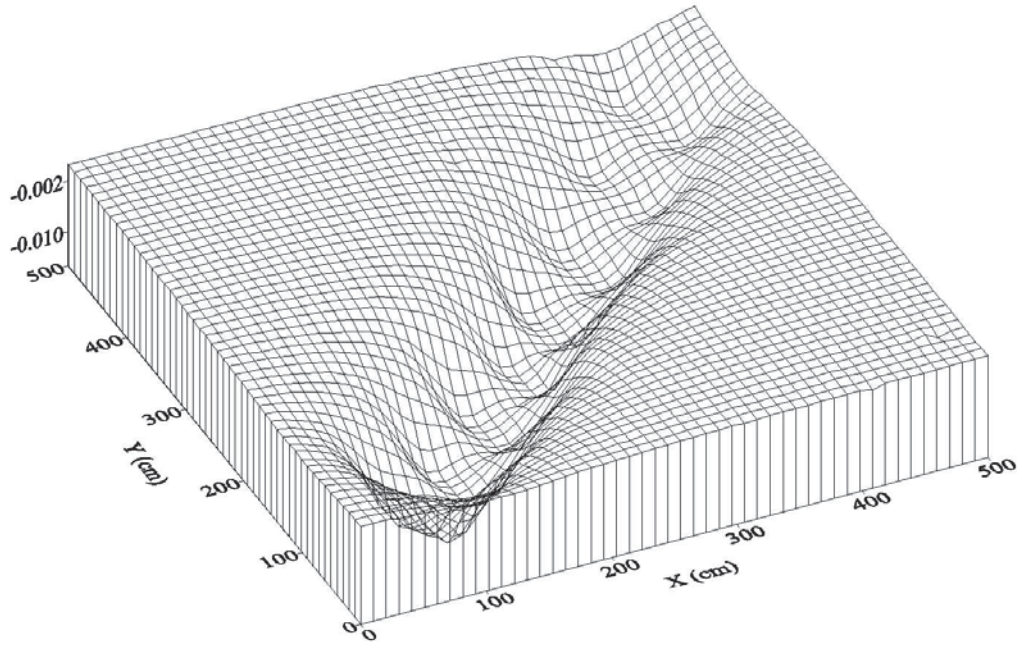


Figura 7 – Simulação de Fratura em uma estrutura mecânica.

As etapas da simulação demonstram a formação de uma fratura dúctil, a partir do surgimento dos microvazios, e tem como proposta a criação de um padrão dentro do método da interferência gravimétrica para detecção de fissuras e fraturas antes que estas provoquem o total comprometimento de uma estrutura mecânica qualquer.

5. CONCLUSÃO

A forma fronteiriça (contorno) do cálculo da interferência gravimétrica apresenta maior eficiência computacional no cálculo requerido, provando que o desenvolvimento do cálculo vetorial é capaz de aperfeiçoar o estudo de fenômenos naturais com uma boa aproximação da realidade. A detecção de anomalias em estruturas sem a utilização de métodos invasivos e destrutivos permite a melhor utilização dos recursos pesquisados. O uso da modelagem matemática apresenta alternativa a tais métodos e vantagens como a agilidade do processo, possibilidade de criação de diversos cenários de estudo e baixo custo.

A modelagem desenvolvida permite possibilidades de simulações que vão desde grandes estruturas cásticas até microestruturas em peças mecânicas. O modelo pode ser implementado de maneira a contribuir para a detecção de falhas e contribuir na inspeção de equipamentos e predição de fenômenos de fratura.

REFERÊNCIAS BILIOGRÁFICA

BRANCO, C.A.G.M.. **Mecânica dos Materiais**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1994.

BUTCHER, C.; CHEN, Z.T.. **Characterizing void nucleation in a damage-based constitutive model using notched tensile sheet specimens**. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 2011.

BUTKOV, E.. **Mathematical Physics**. New York: Addison-Wesley Publishing Company, 1968.

CAJUHI, T. R. M.; BATISTA, L. S.. **Simulação Numérica de Estrutura Mecânica Sujeita a Tensões com Fontes Controladas**. Campina Grande: VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2010.

CALLISTER, W. D..**Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
EDWARDS, C. H., Jr.; PENNEY, D. E.. **Cálculo com Geometria Analítica - Volume 3**. Rio de Janeiro: Editora Prentice Hall do Brasil. 1997.

KREYSZIG , E.. **Matemática Superior - Volume 4**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1982.

SANCHES, M. C. G.; BATISTA, L. S.. **Modelagem gravimétrica Tridimensional de Cavidades através de Integrais de Linha**. Salvador: CPGG/UFBA, 1999.

WECK, A.; SEGURADO, J.; LLORCA, J.; WILKINSON, D.; BOHM, H.. **Numerical simulations of void linkage in model materials using a nonlocal ductile damage approximation**. Madrid: International Journal of Fracture, 2008.

PROJETO, CONSTRUÇÃO, CALIBRAÇÃO E ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM PIRANÔMETRO DE BAIXO CUSTO, BASEADO NO MODELO KIMBALL-HOBBS

R. N. Naziazeno[1] L. Guilherme[2] André de Almeida[1]
[1]Instituto Federal da Bahia - Campus Salvador e [2] Universidade Federal do Rio Grande do Norte-PPPEM
emailautor1@ifredenete.edu.br – emailautor2@ifredenete.edu.br

RESUMO

Neste trabalho é apresentado um protótipo de piranômetro baseado no modelo clássico Kimball-Hobbs. Neste instrumento a irradiação solar é determinada a partir da diferença de temperatura de dois elementos sensíveis expostos ao sol, recobertos com pigmentações que assegurem refletâncias distintas. A escolha das pigmentações se deu a partir da caracterização dos pigmentos por espectroscopia fotoacústica. Esta técnica permitiu escolher os pigmentos mais adequados para absorver seletivamente a luz visível do espectro solar. Foram testados como pigmentos absorvedores: tinta spray comercial preta, negro de fumo, e uma mistura desses dois materiais. Como pigmentos refletores foram testados tinta spray comercial branca, tinta spray comercial alumínio, papel alumínio e solda 60/40 (chumbo e estanho) derretida. A diferença de temperatura nos elementos sensíveis é medida por dois sensores AD590, que é um circuito integrado transdutor de temperatura. Este arranjo produz uma corrente de saída proporcional a diferença de temperatura entre os elementos de absorção. O termômetro usado pode ser alimentado por tensão dc entre 4 e 30V. Este sensor possui dimensões diminutas, com 3mm de espessura e 15mm de altura e é ajustado internamente com o auxílio de laser para assegurar um funcionamento otimizado. Ensaios classificativos, baseados na ISO 9060, e nas indicações da World Meteorological Organization, WMO, também foram realizados. Em particular observou-se a linearidade, a sensibilidade, a termovariação e a variação do sinal de saída com a distância. Em todos os ensaios classificou-se o protótipo como de primeira ou segunda classe. Um sistema de aquisição de 12 bits e 2 canais foi desenvolvidos para a aquisição e processamento do sinal elétrico proporcional a radiação solar no solo. A calibração e teste de hipóteses foram realizados a partir da comparação dos resultados do protótipo desenvolvido com os resultados de um piranômetro certificado Keep&Zonen CMP03.

Palavras-chave: Piranômetro, Radiação Solar, Fotoacústica, Estatística Comparativa.

1. INTRODUÇÃO

O uso das energias convencionais encerra uma série de problemas. A queima de combustíveis fósseis, por exemplo, é feita a partir de matéria prima não renovável, além de contribuir significativamente para o aquecimento global. À geração hidroelétrica associa-se alto custo, sazonalidades do regime de chuvas, e também a produção de gases que contribuem para o efeito estufa, pela deterioração de matéria orgânica nas áreas alagadas pela barragem. Já a energia nuclear, gera detritos radioativos de difícil armazenamento e de alta toxidade (ONU, 2008).

É neste contexto que se insere a energia solar como fonte de energia alternativa, limpa e renovável. Tal energia "bombardeia" a superfície terrestre em grande abundancia e de forma contínua, porém o seu uso é ainda extremamente limitado. No Brasil, por exemplo, apenas 20 KW dos mais de 102.273.385 KW produzidos são provenientes de usinas fotovoltaicas. Dos 1.764 empreendimentos geradores, somente um é de origem fotovoltaico (ANEL, 2009).

O correto aproveitamento da energia solar exige o conhecimento da sua quantidade e de sua qualidade, isto é, é indispensável saber o valor médio, por unidade de tempo, da energia fornecida pelo sol numa dada área. Assim como, quanto dessa energia pode ser coletada de forma direta e o quanto chega de forma difusa. Portanto, medir a intensidade da radiação solar é o que possibilita o correto dimensionamento de instalações de coleta e armazenamento, tanto para aplicações térmicas, quanto em aplicações fotovoltaicas.

Para a medição da radiação global numa dada área da superfície terrestre foi desenvolvido um protótipo de radiômetro do tipo piranômetro, nas dependências do Laboratório de Propriedades Óticas (LaPO) do Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia.

As principais inovações do radiômetro construído são: (a) a utilização de sensores de temperatura do tipo fonte de correntes, encapsulado em metal, que podem ser soldados diretamente aos elementos sensíveis e (b) o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados via porta paralela do personal computer, PC. O funcionamento deste radiômetro está baseado na determinação da diferença de temperatura entre a placa absorvedora de radiação e a placa não absorvedora (ou de baixa absorção) de radiação. O sensor utilizado foi o AD590, fabricado pela Analog Device, que fornece corrente elétrica como função da temperatura, numa relação linear (ANALOGIC DEVICE, 2009). Para assegurar a diferença de refletância e por consequência a diferença de temperatura nos elementos sensíveis expostos à radiação solar, foram realizados ensaios de fotoacústica para a escolha das camadas absorvedora (preta) e não absorvedora (branca). Após a construção do protótipo, ensaios classificativos baseados nas normas da World Meteorological Organization, W.M.O., e no padrão internacional ISO 9060 foram realizados.

Um sistema de aquisição de dados em tempo real também foi desenvolvido, a partir de um conversor Analógico – Digital ADS7804 de fabricação Texas Instrument. Este ADC foi ligado na porta paralela de um PC. Sua utilização enquanto sistema de aquisição de dados foi possível graças ao desenvolvimento de um software em QBASIC. Para calibração do protótipo, utilizou-se a norma ISO 9847, que consiste na comparação entre os resultados de medição do protótipo e as medições de um radiômetro de referência. Neste trabalho o padrão de referência é o piranômetro Kipp&Zonen CMP03, certificado pelo fabricante, este instrumento produz um desvio sistemático, do tipo de off-set, inferior a 0,5% [(BASSO, 1980).

Estatísticas associadas a teste de hipóteses e ensaios de campo também foram utilizadas, com vistas a comparação das medidas obtidas entre o protótipo e o piranômetro Kipp&Zonen.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.

Para que seja possível a medida da intensidade da radiação térmica solar, é necessário que uma pequena área seja interceptada pela mesma, de tal maneira que a energia absorvida pelo elemento sensível, altere propriedades físicas que se correlacionam com a intensidade da energia solar. Se a radiação que incide sobre o elemento sensível é proveniente de todas as regiões do hemisfério acima do plano, excluindo o disco solar, a mesma é dita radiação solar difusa. Se por outro lado, a radiação que atinge o elemento sensível vem diretamente do disco solar, a mesma é dita radiação solar direta.

A radiação solar total ou global é, portanto, a soma das radiações difusa e direta. Os equipamentos que se destinam a medida da radiação solar em solo se classificam, pela natureza da radiação que sobre eles incidem. Os radiômetros – termo genérico que define equipamento destinado a medida d radiação solar – empregados para medir unicamente a potência por unidade de área da radiação solar direta que incide perpendicularmente ao plano dos elementos sensíveis são chamados de Pireliômetros.

Os radiômetros que por sua vez medem a potência por unidade de área da radiação solar global são denominados Piranômetros.

3. MATERIAIS E MÉTODOS.

Aqui aborda-se os processos de fabricação e montagem do piranômetro estudado, enfatizando os materiais necessários a sua fabricação e o processo de levantamento de seu desempenho aplicando as normas internacionais e comparação com um piranômetro de referência. O protótipo está baseado no modelo Kimball-Hobbs. Em sua versão original, este aparato consistia de dois anéis concêntricos com refletâncias distintas, feitos em prata com uma espessura aproximada de 0,25mm e de iguais áreas, sendo o interno recoberto com uma cobertura branca de óxido de magnésio e o externo com uma cobertura

negra. A diferença de temperatura entre os anéis é verificada com o auxílio de termopar e todo o sistema fica acondicionado sobre um hemisfério transparente (BASSO, 1980).

O protótipo de piranômetro desenvolvido mede a radiação solar a partir da diferença de temperatura entre dois elementos sensíveis de forma circular justapostos, feitos de latão, com 0.4 mm de espessura, com área sensível aproximada de 450 mm^2 cada, recobertos por camadas com refletâncias distintas. O elemento destinado á absorção de energia solar foi recoberto com pigmentação de cor negra e o destinado á reflexão foi recoberto de pigmentação de cor branca.

Existe um larga gama de possibilidades de pigmentações que se aproximam das cores branca e negra. A escolha da pigmentação se deu, então, pela caracterização dos pigmentos por técnica de absorção fotoacústica. Uma fonte externa de luz policromática foi usada para a excitação dos materiais, esta luz foi então modulada por um *chopper* mecânico, que envia um sinal de referência para um amplificador síncrono (também chamado de *lock-in*). O feixe passa por um monocromador que separa a luz branca em suas diversas componentes, obtendo-se então luz monocromática, ou quase. A luz atinge

a amostra, gerando o sinal fotoacústico que é captado por um microfone no interior de uma célula. Este sinal é enviado para o *lock-in*, que só amplifica as componentes do sinal que possuem a mesma frequência e fase próxima a do sinal de modulação, eliminando portanto sinais espúrios e indesejáveis. Em seguida o sinal amplificado é enviado a um voltímetro digital conectado a um PC onde será processado, analisado e armazenado. Para a pigmentação absorvedora de luz, de cor negra por tanto, foram testados discos de latão (que servem de suporte para o pigmento) com 5,0 mm de raio com 0,4 mm de espessura recobertos com os seguintes pigmentos: tinta spray comercial para metal preta, resíduos de fumaça na queima de querosene e estopa (fuligem), e finalmente a mistura de ambos. Para o elemento sensível destinado a reflexão testou-se os seguintes pigmentos/coberturas: papel alumínio de 0,30 mm, tinta spray para metal comercial na cor alumínio, tinta spray para metal comercial na cor branca, e solda chumbo-estanho (60-40) derretida.

Quando da exposição dos elementos sensíveis a radiação solar a principal característica física alterada é a temperatura dessas superfícies. Por conta disso optou-se pelo sensor AD590, este termômetro de precisão pertence a família de sensores AD59x da Anolog Devices. É descrito como sendo um circuito integrado de dois canais transdutores de temperatura, que produz corrente de saída proporcional a temperatura absoluta em que se encontra submetido. Pode ser alimentado com tensão DC entre 4 e 30V e possui dimensões diminutas com 3mm de espessura e 15mm de altura (patas incluídas) e é calibrado com o auxílio de laser para assegurar a relação de 1μ *A*/ *K*.

Para assegurar a blindagem eletromagnética, o piranômetro foi montado em uma caixa de alumínio fundido com as dimensões (94x38x27) mm. As janelas óticas foram feita com uma serra copo de 25 mm de diâmetro. O vidro (boro silicato) utilizado para vedação foi o uma lâmina de microscopia não lapidada, com dimensões de 26x76 mm e espessura de 1,0 mm. O cabo para polarização dos sensores e aquisição de sinal tem dez metros de comprimento, sendo composto por seis vias e malha externa, o que assegura a blindagem eletromagnética.

O sinal elétrico proveniente dos AD590 foi amplificado e filtrado com o auxílio de dois amplificadores operacionais, ligados em cascata, para tanto usou-se um OPA177G e um AD623.

A conversão analógico-digital é realizada por uma interface de dois canais analógicos e oito entradas/saídas digitais com leitura e controle feita pela porta paralela de um PC.

A figura 1 mostra o protótipo uma vez finalizado.

Fig. 1: Protótipo finalizado em escala. Destaque para os elementos sensíveis com diferentes refletâncias

4. RESULTADOS

4.1 Caracterização das superfícies

Na primeira fase do desenvolvimento do protótipo de piranômetro foi usada espectroscopia fotoacústica para caracterizar os pigmentos destinados a cobertura dos elementos de absorção de radiação solar. Na figura 2 são apresentados os espectros de absorção de luz não normalizados.

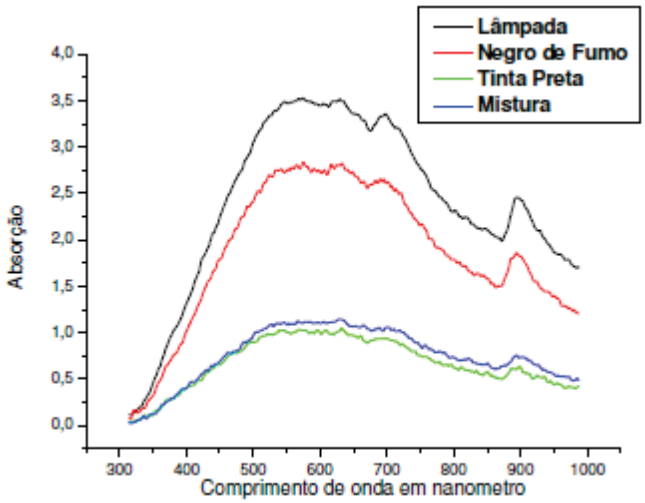


Fig 2. Absorção fotoacústica de pigmentos absorvedores

No gráfico, a linha preta representa a emissão da lâmpada, ou a totalidade da luz que incidiu sobre os pigmentos testados. Aqui se observa que o pigmento destinado a absorção da irradiância, terá melhor desempenho na medida em que se aproxima da curva de referência (lâmpada). Identifica-se assim que o melhor desempenho é do elemento negro de fumo (fuligem), seguido pela mistura (tinta preta+negro de fumo) e finalmente tinta preta spray comercial. Por dificuldades de manipulação e para uma boa fixação do pigmento sobre o elemento sensível (latão), descartou-se o negro de fumo puro, e utilizou-se a mistura.

Para as pigmentações reflexivas obteve-se o resultado apresentados na figura 3, para a caracterização pelo mesmo método espectrográfico.

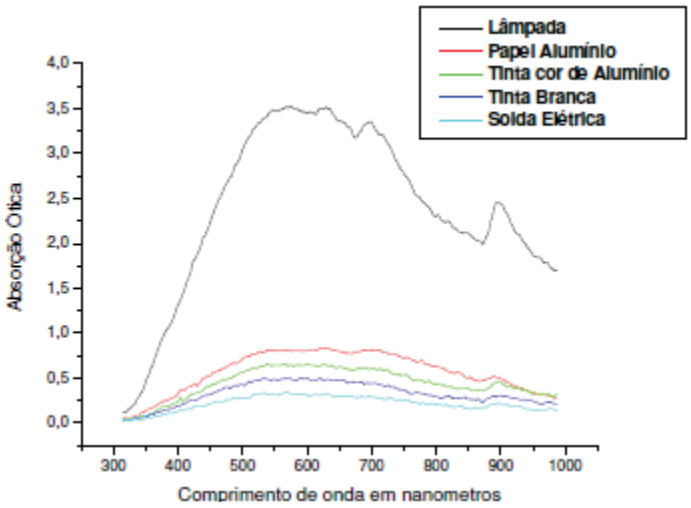


Fig 3. Absorção fotoacústica dos pigmentos reflexivos

Como agora deseja-se uma pigmentação refletora, a melhor curva é aquela que mais se afastar da curva de referência. O gráfico mostra que a pigmentação mais refletora é a solda derretida (curva azul claro). Entretanto, aplicações do tipo piranômetro, onde o equipamento é longamente exposto às intempéries, fizeram descartar este tipo de camada refletora, isto pois, a oxidação muda as características de cor da solda. Por conta disso optou-se pela tinta branca (azul escuro), segunda curva mais afastada da referência.

4.2 Ensaio de linearidade.

Para ensaiar a linearidade do protótipo, uma lâmpada de halogênio de 300 watt, dotada de um refletor, foi usada como fonte de emissão pontual. Erguida em um suporte metálico, esta lâmpada iluminou o protótipo, ao mesmo tempo que iluminava um piranômetro Kipp&Zonen, modelo CMP 03, certificado pela empresa fabricante. Foram anotados os valores de irradiância fornecidos pelo Kipp&Zone e a correntes gerada pelo protótipo, para diferentes distâncias em relação à fonte pontual de emissão. Um gráfico de corrente x irradiância foi então construído, o que possibilitou averiguar a linearidade do equipamento desenvolvido. A função linear, que ajustou os pontos experimentais dá conta da sensibilidade do protótipo ensaiado. Um comportamento linear é indispensável para este tipo de equipamento, isso porque esta é a relação esperada entre o sinal do sensor e a potência solar incidente no plano dos elementos sensíveis (BASSO, 1980). O resultado do ensaio da linearidade é mostrado a seguir na Figura 4.

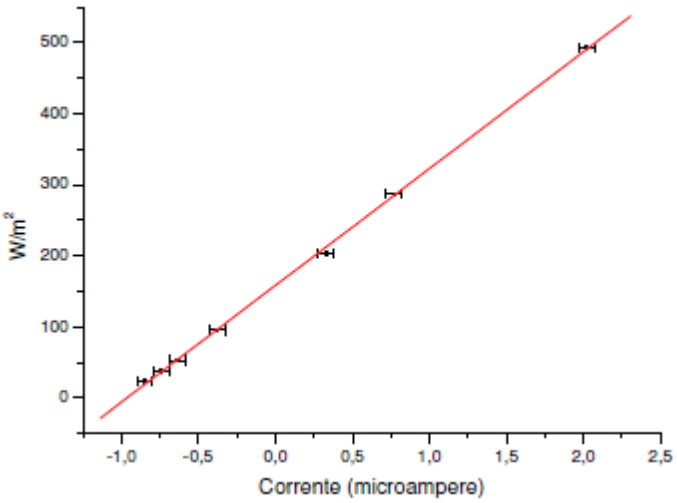


Fig. 4: Linearidade do protótipo

A função linear que ajusta aos pontos experimentais é dada por (Eq. 1):

$$I = 164{,}240A + 158{,}244 \qquad \text{[Eq. 01]}$$

Sendo:

I a irradiância em $W.m^{-2}$ e A a corrente em microampere.

A relação unitária de irradiância nos mostra que a sensibilidade do protótipo, para essa lâmpada, é de: *(0,957 ± 0,002)* $\mu A/Wm^{-2}$. De acordo com a norma ISO 9060, a não linearidade é uma das especificações que devem ser fornecidas em termos percentuais da respostas do protótipo, quando a irradiância solar global é de 500 $W.m^{-2}$, num intervalo que vai de 100 W. m^{-2} até 1000 $W.m^{-2}$. Embora o intervalo ensaiado não chegue ao limite superior de 1000 W.m-2, a excelente linearidade obtida, além das características dos sensores usados, permite admitir que a função linear estabelecida não sofre mudanças

significativas para potências incidentes da ordem de 1000 $W.m^{-2}$. Nesse caso a não linearidade do protótipo foi calculada em **2,4 %**, o que implica numa classificação de acordo com a norma ISO 9060, como um instrumento dito de **segunda classe**.

4.3 Ensaio de resposta em função da distancia da fonte

O mesmo aparato experimental usado no item anterior foi empregado para determinar a resposta do protótipo em função da distância da fonte excitadora. Na Figura 5 é mostrado o gráfico que relaciona a variação do sinal de saída do protótipo em relação com a distância à fonte pontual emissora de luz.

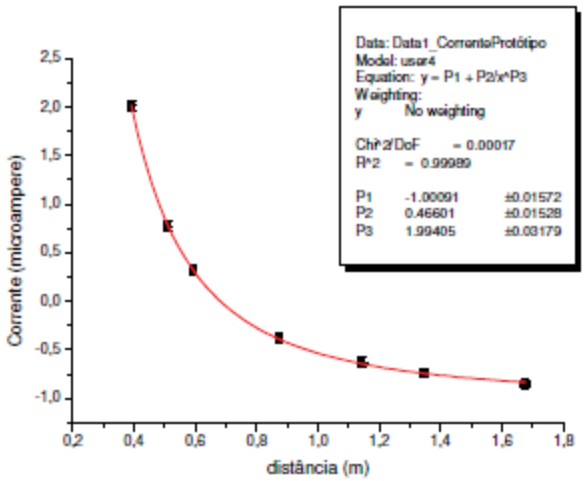


Fig. 5: Variação do sinal com a distância

A função que ajustou os pontos medidos foi do tipo:

$$y = P_1 + \frac{P_2}{x^{P_3}} \qquad \text{[Eq. 2]}$$

Os parâmetros livres P_1 e P_2 foram introduzidos para o ajuste dos pontos experimentais, entretanto, só o parâmetro P_3 possui significado físico. A teoria diz que a irradiância, de uma fonte pontual emissora varia com o inverso do quadrado da distância. O valor de P_3 ajustado foi de *1,994 ± 0,032*, absolutamente compatível com o valor teórico esperado.

4.4 Ensaio de tempo de resposta

O tempo de estabilização do sinal medido pelo protótipo, a partir da exposição à fonte pontual de potência constante, é também um parâmetro classificativo, tanto em se usando a ISO 9060, quanto usando as normas da W.M.O. Para testar o tempo de resposta do sensor, a mesma fonte de luz, citada anteriormente, foi colocada a uma distância fixa de 30 cm. O tempo de estabilização foi obtido com o auxílio de um osciloscópio digital para duas diferentes situações: no aquecimento e no resfriamento dos elementos sensíveis. No aquecimento, onde a lâmpada foi ligada justo antes do inicio da medida, o tempo de estabilização foi de 10s. Após o desligamento da lâmpada, portanto no resfriamento, o tempo de estabilização foi de 35s. Em média, o tempo de estabilização do protótipo é de 22,5s. A ISO 9060 classifica a resposta temporal em 95% do tempo de estabilização. No caso do protótipo desenvolvido esse valor é de 21,4s. Esse resultado, de acordo com a ISO 9060, classifica o protótipo como de **1º Classe** (95% do tempo estabilizado inferior a 30s) A WMO utiliza 63% do tempo de estabilização (FREIRE, 2008) para a classificação. Para o protótipo esse resultado é de 14s. A classificação de acordo com a WMO, para esse tempo é também de **1º Classe** (63% do tempo estabilizado inferior a 25s).

4.5 Calibração do protótipo

A calibração do equipamento ao sol foi feita a partir das funções lineares que ajustaram os pontos

experimentais entre a contagem do ADC e a irradiância verificada com o Kipp&Zonen. A média dos coeficientes angulares das retas ajustadas, dia a dia, na exposição solar forneceu a seguinte calibração para o ADC em aquisição de tempo real:

$$1 \text{ contagem no ADC} = (0{,}690 \pm 0{,}002) W.m^{-2} \quad \text{[eq. 03]}$$

Este fator de calibração permitiu calcular o total de energia solar em solo, verificado pelo protótipo e pelo Kipp&Zonen, ao longo de nove dias. A média do protótipo foi de *(16,2 ± 3,3) M J m $^{-2}$ dia^{-1}*. A média do Kipp&Zonen foi *(19,1 ± 3,7) M J m $^{-2}$ dia^{-1}* .

Esses resultados conduziram ao teste de hipótese de que, com 95% de certeza, os equipamentos produziriam leituras populacionais de iguais médias.

A estatística do teste é definida por (MONTGOMORY, 2001):

$$T = \frac{\overline{X_1} - \bar{X}_2 - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2}}} \quad \text{[Eq. 04]}$$

O parâmetro interpolador é dado por:

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1).{S_1}^2 + (n_2 - 1).{S_2}^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad \text{[Eq. 05]}$$

Neste caso: S_p = 30,5057*S* e *T* = 1,755. Como o teste é bilateral deve-se rejeitar a hipótese para o caso de $T_0 > t_{0,025;9} = 2{,}262$ ou $T_0 < t_{0,025;9} = -2{,}262$ (MONTGOMORY, 2001). Assim sendo, não se pode rejeitar a hipótese. Afirma-se então, com 95% de certeza, que ambos os equipamentos produzirão medidas de médias iguais. No teste de exposição a luz solar o sistema de aquisição de dados foi utilizado. Gráficos relacionando a irradiância solar (W/m^2), obtida com o Kipp&zonen e com a irradiância (em unidades de contagem do ADC), obtidas a partir do protótipo, foram construídos com vista à calibração do protótipo. A figura 6 mostra um exemplo de tais gráficos:

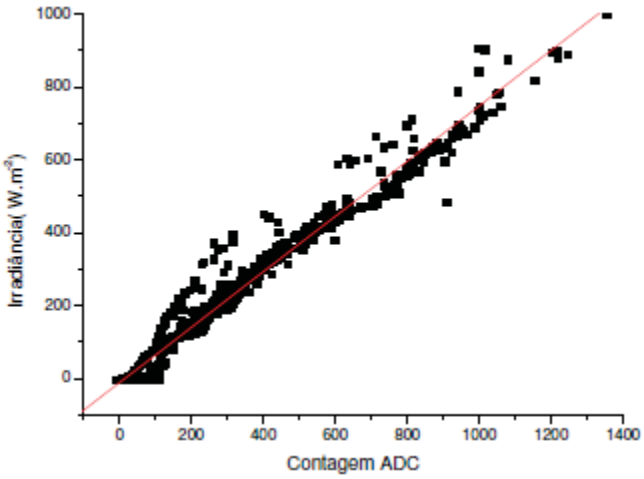


Fig 6: Função que relaciona o ADC com a irradiância, após um dia de aquisição

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi projetado, desenvolvido, montado e testado, com absoluto sucesso, um piranômetro do tipo Kimball-Hobbs baseado em sensores de temperatura do tipo AD590. A pigmentação usada para recobrir os elementos sensíveis, caracterizada por espectroscopia fotoacústica, assegurou a diferença de refletância à luz solar e por conseguinte a diferença de temperatura nos elementos coletores da radiação.

A desejada relação linear entre o sinal elétrico do protótipo e a potencia incidente no plano dos elementos sensíveis foi plenamente alcançada. A não linearidade percentual correspondeu a 2,4%**,** estando o protótipo construído classificado como de **segunda classe** segundo a norma ISO 9060.

No protótipo ensaiado o valor encontrado da variação do sinal com a distância está em consonância com a teoria, dentro dos desvios estabelecidos, com mais de 63% de certeza.

Com relação a constante de tempo a Sociedade Mundial de Meteorologia (WMO) e a ISO 9060 classificam o piranômetro construído como de **primeira classe**. Ou seja, independente do padrão adotado, no que concerne a resposta temporal, tem-se um protótipo de **primeira classe.**

A sensibilidade calculada é de *(0,957 ± 0,002)* $\mu A/Wm^{-2}$, é compatível com a sensibilidade de calibração dos sensores de *(1,000 ± 0,330)* $\mu A/K$ assumida pelo fabricante.

O estudo estatístico sobre a população de dados adquiridos mostra que não há diferença no desempenho do protótipo, quando comparado a um radiômetro comercial, Kipp&Zonen, na verificação da radiação solar global em solo.

6. REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Resultado de busca por geração de energia**. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp. Acesso em novembro de 2008.

Analogic Device. **AD590.** Norwood, MA. Disponível em: http://wwwcascina.virgo.infn.it/EnvMon/List/Thermometer/AD590.pdf.

BASSO, Délcio. **Desenvolvimento e calibração de radiômetros para a medida de radiação solar**. 103f. 1980. Dissertação (mestrado) - Programa de pós graduação em engenharia metalúrgica e dos materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1980.

ONU (EUA). **Intergovernernmental Panel on Climate Change**. New York, 2008. Disponível em http://www.ipcc.ch/index.htm. Acesso em maio de 2009.

FREIRE, Luis Abelardo Dantas. **Desenvolvimento de um piranômetro fotovoltaico.** 2008. 60f. Dissertação (mestrado). Programa de pós graduação em tecnologias energéticas e nucleares. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

MONTGOMERY, Douglas, et all. **Estatística Aplicada à Engenharia.** Vol. 11, pág. 201-301,LTC. 2001.

SELEÇÃO E ESPECIFICAÇÃO DO MATERIAL NECESSÁRIO PARA A ELABORAÇÃO DE UMA MÁQUINA PARA A NUCLEAÇÃO DE PRÉ-TRINCAS DE FADIGA EM CORPOS DE PROVA

Samuel F. da Silva[1], Jonatha M. de Lima[1], Vitória L. D. de Morais[1] e Águeda C. da Costa Fernandes[1]
[1]Instituto Federal do Rio Grande do Norte - Campus Mossoró
samuelpedro_@hotmail.com – jonatha_marce@hotmail.com – vitorialarissa@hotmail.com – agueda_cristina@hotmail.com

RESUMO

O artigo trata-se de uma pesquisa experimental e expõe o custo-benefício de materiais utilizados na máquina que realiza o ensaio de fadiga, demonstrando que alguns poderiam ter custo menor e atender às mesmas necessidades; além de uma especificação e, posterior, seleção bem definida, com intuito de demonstrar a importância dessas ações que se diferenciam por permitir um melhor entendimento da composição da máquina abordada. A pesquisa experimental foi decorrida da usinagem de peças necessárias ao funcionamento da estrutura e pela interpretação das propriedades existentes no material (como tenacidade e dureza) que foi submetido ao processo em questão. O corpo de prova ensaiado também se apresenta como um dos outros pontos a ser citados, uma vez que o estudo de suas características se identifica como o principal motivo na execução do ensaio, já que dependendo do tipo de material que constitui o corpo de prova, isso alterará o resultado obtido no ensaio de fadiga, que pode ser interpretado através de gráficos de tensão por ciclos até o rompimento. Conclui-se que para não haja um maior custo e maior desperdício de materiais na construção de uma máquina mecânica é necessário a especificação e seleção do material.

Palavras-chave: Especificação, Seleção, Material, Tenacidade, Fadiga

1. INTRODUÇÃO

É sabido que a análise ou ainda o estudo da integridade estrutural dos componentes que operam sob as mais diversas condições de temperatura e pressão é de fundamental importância no contexto atual, uma vez que esse procedimento pode evitar acidentes relacionados com o meio ambiente, como por exemplo, o vazamento de gases ou substâncias que possam vir a causar poluições do solo e da atmosfera. Em outros casos, a falha estrutural na indústria pode causar lesões ou mesmo a morte de indivíduos em contato com o meio.

Essa problemática trouxe a criação de máquinas que nos permite o conhecimento específico de cada componente de uma turbina, de um compressor, de tubulações, entre outros elementos tão presentes nas fábricas, através de testes que submetem o material desses componentes a determinados esforços e que estes expõem de forma detalhada as características de suas respectivas propriedades mecânicas. Todo esse processo recebe o nome de ensaio e é um artifício bastante usado no mundo contemporâneo por razões lógicas já citadas anteriormente e por permitir uma maior precisão sobre os componentes a ser utilizados em uma fábrica, ponto este de bastante importância nos dias de hoje.

O ensaio de fadiga é caracterizado por submeter um material à uma força cíclica-constante até que este venha a romper, durante certo intervalo de tempo, cujo objetivo é a analise da deformação existente na peça juntamente com suas propriedades mecânicas, químicas e físicas. A máquina para a nucleação de pré-trincas de fadiga é um mecanismo utilizado para verificar a resistência que cada material apresenta quando submetido a esforços cíclicos, caracterizando o ensaio. O processo se inicia quando o motor é acionado e impulsiona o rolamento a realizar sua trajetória uniformemente circular transmitindo seu movimento a garras que estão solidárias a haste, realizando movimento vertical. Essa trajetória alcança dois pontos relevantes, o ponto máximo e o ponto mínimo, sendo o primeiro, o momento em que as garras alcançam o corpo de prova e o submete a força constante; e o segundo, o estado inicial do conjunto em que não há realização de trabalho.

Ambos os processos ocorrem sucessivamente. Não obstante, a escolha dos materiais adequados na composição desta máquina, também tem certa importância, já que sua elaboração e funcionamento permitirão que o material possa ser submetido a uma dada tensão e, por conseguinte, possa realizar o ensaio de fadiga. Será tratado aqui a especificação e seleção do material, com suas características específicas, para a fabricação da máquina em questão, ao passo que analisar-se-ão os corpos de prova em comum com o ensaio, suas dimensões e gráficos de tensões por movimentos cíclicos do material durante o ensaio. Ou seja, este trabalho tem como objetivo a especificação e a seleção do material necessário para a fabricação de uma máquina de nucleação de pré-trincas por fadiga, que será utilizada para a complementação dos conteúdos lecionados em sala de aula, uma vez que a máquina, quando finalizada, permanecerá nas dependências da instituição.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA OU FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O ensaio de fadiga é um processo que se inicia com a nucleação de uma trinca na superfície do material a ser analisado. A partir desta trinca, a máquina para nucleação de pré-trincas de fadiga aplica uma carga constante sobre a falha, repetindo o processo até que haja a ruptura do corpo de prova. Concomitante a isso, a maquina, constrói um gráfico demonstrando nele os resultados dos ciclos aplicados sobre os corpos de prova. A análise desses resultados é feito por meio do entedimento do gráfico em questão, permite-nos, desta forma, adequar os mais diversos componentes em seus respectivos lugares.

O processo de fadiga se dá quando um componente mecânico é submetido a cargas cíclicas. Esse processo é iniciado com a nucleação de uma trinca, geralmente na superfície do componente (ou logo abaixo desta) e se propaga até causar a sua falha por ruptura (Carlos Eduardo Silva de Amorim, Herman Jacobus Cornelis Voorwald; 2009; pag. 102).

Para aperfeiçoar o comportamento em fadiga de cada componente, os projetistas observam critérios como o formato (para evitar concentradores de tensão), o estado da superfície, os ataques químicos e as propriedades do material. Outro fator a ser considerado é a superfície de contato do material com a máquina, de maneira que superfícies lisas apresentam vidas em fadiga maiores que as vidas de peças com superfícies rugosas ou riscadas. Por exemplo, danos superficiais produzidos por usinagens grosseiras ou por batidas com outras peças ou ferramentas na estrutura de um trem de pouso podem condená-lo. Sulcos e roscas também são elementos que são determinantes na nucleação de trincas por fadiga.

Os ensaios de fadiga mais adotados são os de flexão rotativa, os de flexão alternada e os tração-tração. Cada tipo de ensaio é mais apropriado para simular uma dada geometria de aplicação de esforços cíclicos durante a vida útil de uma peça. Embora não se tenha estabelecido uma relação entre o limite de escoamento e o limite de resistência à fadiga, o limite de escoamento é útil para se escolher a amplitude da tensão cíclica a ser aplicada no primeiro de uma série de ensaios de fadiga.Costuma-se iniciar os ensaios de fadiga com tensões próximas e abaixo da tensão de escoamento, seguindo-se de ensaios com tensões paulatinamente mais baixas, até que ocorram ensaios em que a máquina de fadiga seja desligada sem que o corpo de prova tenha se rompido. A seguir está exposto um exemplo de gráfico de um corpo de prova sendo ensaiado:

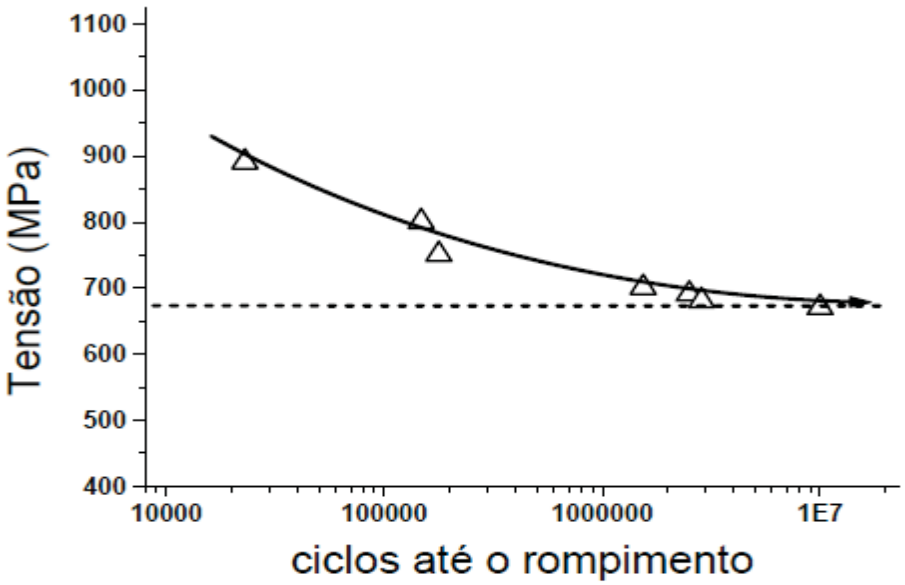


Gráfico 1 - Relação entre a Tensão aplicada e os Ciclos da máquina até o rompimento do corpo de prova (CHIAVERINI- 1996)

A máquina para nucleação de pré-trincas de fadiga é estruturada através de materiais metálicos, no caso, em aços, sendo eles 1010, 1020 e 1045. Os aços utilizados foram escolhidos com base em sua

resistência e em sua maleabilidade na hora de ser usinado, uma vez que os aços apresentam grande resistência a impactos e pouca a deformações, além de serem muito tenaz e pouco duro. Sendo tenaz, oferecem grande resistência a impactos que neles venham a ser aplicados, enquanto a sua dureza indica a maleabilidade que ele oferece a deformação. O processo se inicia quando o motor que fornece a energia a estrutura é acionada, transformando a energia elétrica em energia mecânica, movimentando uma haste horizontal ao plano da máquina que está acoplada à um rolamento. Este, por sua vez, transforma esse movimento horizontal em movimento vertical, o qual irá impulsionar garras que irão aplicar a carga sobre a trinca existente na superfície do corpo de prova. Quando as garras aplicarem essa carga, o eixo terá alcançado o ponto máximo de sua trajetória, retornando ao início, o estado inicial do movimento. Isso ocorre porque o movimento é uniformemente circular e a haste está acoplada em um dos pontos que, quando realizado um movimento de 360º, e terá alcançado o ponto máximo e ponto mínimo, pontos relevantes do processo, já que durante a trajetória não há a utilização do trabalho. Portanto, em um ciclo ou volta do rolamento, a estrutura aplica a carga no corpo de prova uma única vez, pois somente no ponto máximo a máquina atinge o objeto com as garras, e ela só chega a esse ponto uma única vez por ciclo.

Um dos maiores problemas atuais no acompanhamento da integridade de componentes mecânicos é a possibilidade de ocorrência de uma fratura frágil, repentina e inesperada, mesmo quando o componente esteja submetido a condições normais de operação. O dano que pode ocorrer em uma estrutura, principalmente se houver a presença de um concentrador de tensão, vai depender, basicamente, da capacidade do material absorver deformações plásticas localizadas, gerando uma região deformada na ponta da trinca. A presença de um entalhe em um componente mecânico cria regiões nas proximidades da ponta da trinca com estados triaxiais de tensões, o que restringe a deformação plástica, ou seja, tende a fragilizar o material. (CALLISTER JR., W.D.(2002).

Os acoplamentos entre as peças da estrutura da máquina são compostos por parafusos de sustentação, parafusos Allen, parafusos sextavados, porcas sextavadas, arruelas, pinos, buchas etc., e são de grande importância na estruturação da máquina em questão.

Para a construção da máquina, todo o aço empregado passará pelos diversos processos mecânicos, alguns serão faceados e cilindrados no torno, desbastados na plaina, utilizarão de acabamento na lima etc. O sobremetal resultante desses processos de usinagem (também chamado de cavaco) poderá ser reutilizado para fins específicos, objetivando o reaproveitamento de grande parte deste material metálico. Esse procedimento se apresenta como uma alternativa econômica e ecologicamente correta, uma vez a falta de uso do cavaco pode trazer consequências, já que há uma produção cada vez mais excedente e a necessidade de utilizar metais que supostamente seriam inutilizáveis fica evidente. É importante ressaltar que procedimentos para tratar esses materiais sem uso é fundamental, pois só assim se estabelecerá um meio que permite ações para fins ecológicos. Além disso, nota-se que uso de peças de aço - liga metálica composta essencialmente por ferro e carbono - já descartadas promove melhores condições ao meio ambiente. Para a obtenção de ferro na natureza há grande degradação de áreas devido à mineração, já que para separar o elemento de outras substâncias o metal passa por um processo em temperaturas elevadas resultando em um alto consumo de energia, poluição de reservatórios de água, do solo - devido o uso de produtos químicos - e do ar pela emissão de gases em toda a área da extração. A figura 2, do reaproveitamento de metais.

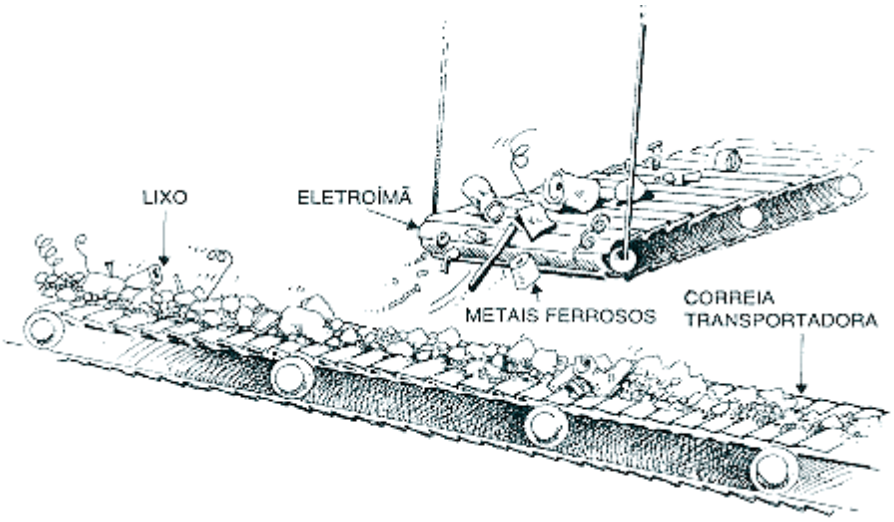


Figura 2 - Reaproveitamento do metal resultante dos mais variados processos de fabricação e usinagem mecânicas (CALLISTER JR -2002)

3. METODOLOGIA OU MATERIAIS E MÉTODOS

A partir da apresentação do projeto, houve primeiramente a especificação do material e, por conseguinte, a seleção do material a ser utilizado para a construção da máquina. A especificação dos materiais tomou como base quais materiais seria resistente o suficiente para suportar as cargas aplicadas durante todo o processo e a vida útil oferecida por eles para tal ensaio de fadiga. Isso foi avaliado a partir de como as propriedades tenacidade e dureza se apresentava nesses materiais. A seleção, por sua vez, tomou como base a relação custo-benefício que cada material oferecia (através de uma pesquisa de mercado).

4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Durante a pesquisa de mercado, foi percebido, durante o decorrer do processo, que não haveria disponibilidade de alguns materiais, uma vez que muitos destes seriam de difícil acesso, já que há uma limitação de recursos por parte do mercado local. No entanto, o estudo bem detalhado dos componentes da máquina demonstrou que outros materiais poderiam ser mais baratos e atender as necessidades da mesma forma.

De acordo com a tabela abaixo, foi desenvolvido uma identificação dos padrões de dimensões associados aos padrões de preços decorrentes dos componentes da máquina de nucleação de pré-trincas por fadiga.

Tabela 1 - Relação entre Preço e Custo dos materiais selecionados para constituir a máquina

Materiais	Loja 1		Loja 2		Loja 3		Loja 4	
	Dimensões	Preço (R$)	Dimensões	Preço(R$)	Dimensões	Preço (R$)	Dimensões	Preço (R$)
1 - Parafuso de Sustentação (Allen)	M10X50mm	R$ 2,50	·	·	·	·	·	·
2 - Placa de Suporte Retangular (Aço 1045)	·	·	9"X6"X3/4"	R$ 32,50	·	·	·	·
3 - Parafusos de fixação para parede de Sustentação (Allen)	M10X30mm	R$ 2,00	·	·	·	·	·	·
4 e 16- Anel Central (Barra de Perfil Redondo - Aço 1045)	·	·	ø90mmX50mm	R$ 32,00	xxxxxxxxx	xxxxxxxxxx	·	·
5 - Parede de Sustentação (Aço 1045) - 2 unidades	·	·	180mmX150mmX20mm	R$ 53,30	·	·	·	·
6 - Placa Superior (Aço 1045)	·	·	151mmX150mmX20mm	R$ 23,40	·	·	·	·
7 - Barra Sextavada (Aço 1045) - 2 unidades	x	·	·	·	·	·	·	·
8 - Porcas Sextavadas - 4 unidades	M16	R$ 0,70	·	·	·	·	·	·
9 - Cabeçote Superior (Barra Perfil Quadrado - Aço 1045)	·	·	80mmX25,4mmX25,4mm	R$ 13,77	·	·	·	·
10 - Fixações (Barra de metal - Perfil Quadrado - Aço 1045)	·	·	20mmX16mmX16mm	R$ 0,60	·	·	·	·
11 - "T" (Barra de Perfil Quadrado - Aço 1045)	·	·	50,8mmX50,8mmX50mm	R$ 15,23	·	·	·	·
12 - Parafusos de fixação (Allen)	M5X20mm	R$ 0,44	·	·	·	·	·	·
13 - Pino Apoiado sobre Rolamento (Barra de Perfil Redondo - Aço 1045)	·	·	ø13mmx60mm	R$ 0,72			·	·
14 - Bucha (Barra de Perfil Redondo - Material Anti-fricção: Latão ou Bronze)	·	·	·	·	ø1"X20mm	R$ 5,20	·	·
15 - Rolamento Fixo de uma carreira de esferas - 2 Unidades (**Preço Descrito por unida**	·	·	·	·	·		ø35mmXø80mmX25mm	R$ 68,00
17 - Parafuso de União / Fixação dos anéis 4 e 16	M6X45mm	R$ 1,10	·		·	·	·	·
18 - Rolamento (Item 15) - (**Preço Descrito por unidade**)	·	·	·	·	·	·	ø80mmX280mmX20mm	R$ 679,00
19 - Eixo Anel Central (aço 1020)	·	·	ø64X250mm	R$ 61,88	·	·	·	·
20 - Flange do Motor (Perfil Redondo)	·	·	ø60mmX50mm	R$ 12,33	·	·	·	·
21 - Acoplamento para os flanges do motor (Perfil Redondo)	·	·	63,5mmX20mm	R$ 4,95	·	·	·	·
22 - Flange do Motor (Item 20)	·	·	60mmX50mm	R$ 12,33	·	·	·	·
23 - Parafuso de união flange - motor/eixo (Allen - Sem cabeça)	M8X16mm	R$ 0,65	·	·	·	·	·	·
24 - Parafuso para fixação do flange-eixo (Allen - Sem cabeça)	M5X10mm	R$ 0,40	·	·	·	·	·	·
25 - Haste (Aço 1045)	·	·	19,05mmX230mm	R$ 5,25	·	·	·	·
26 - Garra (Barra Quadrada - Aço 1045)	·	·	60mmX25mmX25mm	R$ 2,25	·	·	·	·
27 - Placa Superior Retangular	·	·	151mmX150mmX20mm	R$ 23,40	·	·	·	·
28 - Parafuso Suporte - Barra Sextavada	·	·	·	·	·	·	·	·
29 - Parafuso de Fixação da Garra-Anel (Barra Sextavada)	·	·	·	·	·	·	·	·
30 e 31 - Arcos Superior e Inferior	·	·	368mmX368mm	R$ 8,61	·	·	·	·
32 - Parafuso Rosqueado para união Placa Superior -Haste	M10X35mm	R$ 1,50	·	·	·	·	·	·
33- Porcas para fixação do parafuso 28 - Normal	M16	R$ 0,70	·	·	·	·	·	·
33 - Porcas para fixação do Parafuso 28 - Travante	M16	R$ 2,50	·	·	·	·	·	·
34 Arruelas	·	·	·	·	·	·	·	·

Através da análise dos preços contidos na tabela em questão, pôde-se fazer o custeamento total para a construção da máquina.

4. CONCLUSÃO

A partir da análise de todos os dados obtidos, pôde-se concluir que a construção de máquinas mecânicas necessita, antes de qualquer coisa, da especificação e posterior seleção de todo o material que irá compor a máquina, já que, sem isso, o custo final desta poderia ser exorbitante comparado com uma em que esses fatores não fossem levados em consideração.

Funcionamento de uma estrutura, seja ela qual for, vai depender da análise material para que possa vir a realizar suas funções específicas. O estudo da especificação, seleção e escolha desses materiais trouxe, portanto, uma interpretação do comportamento da máquina de fadiga e se esta teria capacidade de operar com as condições materiais em análise.

Em relação a questão ambiental, o sobremetal resultante de todo o processo de usinagem para a fabricação das peças devem ser reutilizados, uma vez que para a construção de uma máquina mecânica são necessários grandes quantidades de metais e, por conseguinte, resulta grande quantidade de cavaco nesse processo.

Se o material resultante não for aproveitado, isso trará grande prejuízo tanto ao meio ambiente quanto contribuirá ao desperdício de material que resultará, no final das contas, no aumento do preço final da máquina produzida. Reutilizando o cavaco resultante, através da fundição de metal de mesmo tipo, poderá fabricar, por exemplo, novos tarugos.

.

REFERÊNCIAS BILIOGRÁFICA

AMORIM, C. E. S.; VOORWALD, H. J. C.; **Alguns fatores que afetam o comportamento de aços de uso aeronáutico sob fadiga,** Departamento de Engenharia Mecânica, UNESP, 2009.

BOSE FILHO, W. W. (2009). **Fadiga dos materiais.** São Carlos: [s.n.]. Notas de aula.

BRESCIANI, E. F. (1991). **Seleção de materiais metálicos.**3.ed.Campinas: Editora da Unicamp.Cap.3, p.51-150.

CALLISTER JR., W.D.(2002). **Ciência e engenharia de materiais:** uma introdução. 5.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos.

CHIAVERINI, VICENTE. **Tecnologia Mecânica 3 – Materiais de Construção Mecânica. Editora McGraw-Hill, 2ª edição**, p.190-203. São Paulo, 1986.

GAMBONI, OTÁVIO CONTART; **Estudo do efeito do ambiente no comportamento em fadiga de novas ligas de Al de grau aeronáutico,** Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2011.

GARCIA, AMAURI; SPIM, JAIME ALVARES; DOS SANTOS, CARLOS ALEXANDRE. **Ensaio dos Materiais. LTC Editora S.A**. Rio de Janeiro, 2000.

GUIMARÕES, V.A.; Hein, L.R.O.; Zangrandi, Filho J.; "**Sistema de Baixo Custo para Nucleação de Pré-Trincas por Fadiga em Corpos de Prova de Tenacidade à Fadiga",** Departamento de Materiais e Tecnologia, FEG, UNESP, 2001.

ITURRIOZ, I.; - **Notas de aula da disciplina Mecânica dos Sólidos II,** DEMEC, EE, UFRGS, 2005.

RANIERI, P. H., **Máquina para Abertura de Pré-Trincas por Fadiga em Corpos de Prova ASTEM E399**, p. 8-12. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

VIABILIDADE TÉCNICA DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA EÓLICO OFFSHORE NA MARGEM DO ESTADO DO RN

L.C.P. Silva[1], M.A.Diniz[2], E.M.F. Correia[3], K.K.A. Trindade[4] e M.R.D. Junior[5]
[1]Instituto Federal do Rio Grande do Norte - Campus Central , [2]Instituto Federal do Rio Grande do Norte– Campus Central , [3]Instituto Federal do Rio Grande do Norte – Campus Central , [4]Instituto Federal do Rio Grande do Norte– Campus Central , [5]Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
lucas_cassiano21@hotmail.com – marcusalexandrediniz@hotmail.com – ewerson_vidaloka@hotmail.com – kacietrindade@gmail.com – magnus.diniz@hotmail.com

RESUMO

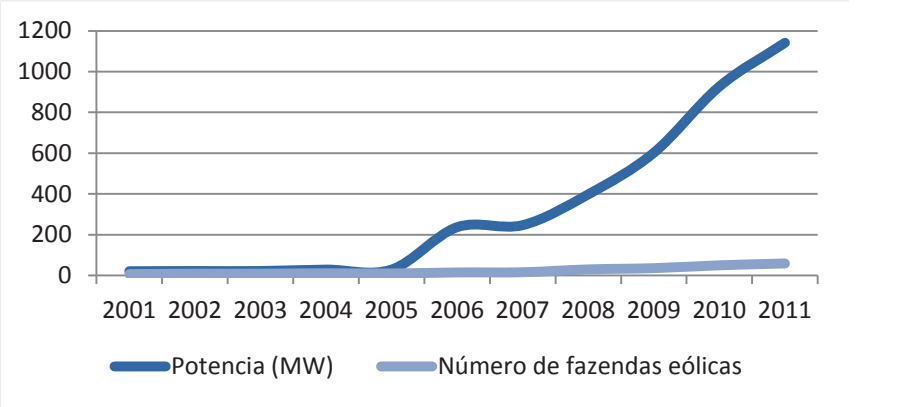
Uma das maiores problemáticas do mundo de hoje se dá em relação à energia, visto que a massiva maioria desta é de origem não renovável. Motivadas por tal questão, nações e empresas vêm procurando meios mais sustentáveis de produção elétrica, um das soluções encontradas é a energia eólica. Este sistema vem ganhando notório destaque no Brasil, que aumentou em cinquenta vezes a produção de energia eólica na ultima década. Ainda que tal fonte ainda represente menos de 1% da matriz energética nacional. Nos primeiros leilões eólicos realizados no País o Estado do Rio Grande do Norte assumiu a liderança, com maior número de projetos propostos e contratados em relação aos demais Estados participantes. Em 2011 o RN perdeu tal posto, caindo para a última posição no leilão eólico. Ainda assim a energia eólica mostrou-se uma forma limpa e eficaz de produção energética para o Estado. Mas uma nova forma mais eficiente de aproveitamento eólico, já implantada em alguns países, principalmente na Europa, que podem servir de exemplo, não vem sendo aplicada no Rio Grande do norte, esta é a geração de energia com aerogeradores *offshore*. O principal objetivo deste trabalho é desenvolver um estudo bibliográfico da viabilidade da implantação de um sistema de energia eólica *offshore* próxima ao litoral do Rio Grande do Norte, gerando assim uma nova perspectiva para geração elétrica na região, além de contribuir para uma menor agressão ambiental comparada a outros modos de produção de eletricidade, como usinas hidrelétricas e nucleares. Foram pesquisados e analisados fatores naturais locais, como velocidade dos ventos e densidade de potencia, e fatores econômicos, tais como o preço do MW instalado *offshore*. Os resultados demonstraram que a alta incidência de ventos em toda a margem do RN, assim como a também alta densidade de potencia eólica são capazes de suportar um sistema eólico *offshore*. Com ênfase em uma faixa de mar ao norte do Estado com um dos maiores valores de densidade de potencia eólica na costa brasileira. Tendo como base em estudos anteriores sobre a utilização *offshore* da energia eólica no país, argumentaram o uso desta após o esgotamento a capacidade *onshore* do País, ainda que a tecnologia apresente certas vantagens, pois a grande disponibilidade de terras sem uso no Brasil torna as fazendas eólicas *onshore* mais atrativas. O RN ainda não atingiu nem metade de seu potencial eólico em terra, a implantação de um sistema offshore se mostra uma alternativa para um possível panorama futuro, onde o potencial *onshore* estiver próximo à saturação. O Estado não estagnaria na geração eolielétrica, considerada limpa. Não necessitando, então, de fontes não renováveis para suprir a demanda energética da população, alcançando um cenário sustentável.

Palavras-chave: Rio Grande do Norte, potencial eólico, aerogeradores *offshore*, eolielétrica, sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

A energia eólica vem ganhando notório destaque no Brasil nos últimos anos, passando de 21MW em 2001 para 1141,5 MW em 2011, aumentou em mais de cinquenta vezes na ultima década, mas ainda representa apenas 0,92% do total da produção nacional de energia elétrica. O crescimento da energia eolielétrica e o numero de fazendas no Brasil seguem na gráfico abaixo:

Gráfico 1: Capacidade eólica instalada e número de fazendas eólicas no Brasil



Fonte: ANEEL (2011)

Nos primeiros leilões energético nacionais, realizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) apoiada pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), o Rio Grande do Norte conseguiu posições de ênfase. No primeiro leilão, em 2009, o Estado foi o maior em número de projetos e potencial de energia ofertado, entre os estados participantes, entrando com 134 projetos para seleção do total de 441 do evento, daqueles 23 aprovados. Todavia em 2011 perdeu a posição de liderança, quando o preço-teto do Mwh que foi no primeiro leilão de R$ 189,00 (com média de R$ 149,32) baixou para R$ 139,00. O Estado foi o que menos teve projetos aceitos, dos 75 habilitados apenas dois serão construídos, ambos com o preço do Mwh fixado à R$ 99,00.

Atualmente existem cinco fazendas eólicas em funcionamento no RN, com capacidade de 128.106 KW, o que representa 11,22% da produção de energia eólica do Brasil, de 1141.542,20 kW; e 18,31% da geração de energia do Estado. Mas ainda assim nem todo o potencial eólico do Estado, assim como do País, está sendo utilizado, afinal, já existem possibilidades tecnológicas de geração de energia que não se limitam à "terra firme", conhecidas como *offshore*. Utilizando máquinas com princípios de funcionamento similares às convencionais (como cristais piezo elétricos, painéis fotovoltaicos e, em foco neste artigo, os aerogeradores), só que agora aplicadas ao mar. Equipamentos em maiores escalas, com maior potencial de geração de energia e menor impacto ao meio ambiente.

O potencial eólico da Zona econômica exclusiva (ZEE) brasileira é cerca de 12 vezes maior do que na área continental do país. De acordo com BRASIL. Lei Nº 8.617, de 4 de Janeiro de 1993. "O mar territorial brasileiro compreende uma faixa de doze milhas marítima de largura, medidas a partir da linha de baixa-mar do litoral continental e insular, tal como indicada nas cartas náuticas de grande escala, reconhecidas oficialmente no Brasil"; ou seja, o País tem uma faixa de mar de 22 km, dentro da qual poderiam ser instalados aerogeradores.

Estudos recentes apontam pontos propícios para a utilização da energia eólica *offshore* no Brasil, podemos a partir deste ponto tomar como exemplo as tecnologias aplicadas às fazendas eólicas

offshore já existentes em outros países, com a Dinamarca, Portugal e Alemanha, observando os tipos de base dos aerogeradores mais adequados às profundidades encontradas na margem brasileira, a potência gerada por cada torre e os meios de transporte do conjunto e/ou meios de construção das bases.

Neste trabalho fizemos uma análise teórica tanto dos fatores geofísicos quanto dos tecnológicos disponíveis no Brasil comparando-os com o sistema *onshore* e com os de Países e fazendas eólicas *offshore* já existentes. Definindo a possível viabilidade da utilização de tal fonte na matriz energética brasileira.

2. METODOLOGIA

Este trabalho fundamenta-se em uma pesquisa bibliográfica. De acordo com Malheiros (2010), a pesquisa bibliográfica levanta o conhecimento disponível na área, possibilitando que o pesquisador conheça as teorias produzidas, analisando-as e avaliando sua contribuição para compreender ou explicar o seu problema objeto de investigação.

Decidimos começar a pesquisa por alguns sistemas *offshore* já existentes, incluindo assim as especificações, tanto das estruturas de base quanto das turbinas geradoras. De tal forma teríamos um ponto de referencia ao qual poderíamos no término do levantamento de dados sobre o Brasil estabelecer uma comparação. Após esse primeiro passo, pesquisamos o potencial eólico *onshore* e *offshore* do País, enfatizando a região do RN.

Ao fim do levantamento bibliográfico, comparamos os resultados obtidos no Brasil com os de outros países, que já utilizam aerogeradores *offshore*.

3. CONCLUSÃO

3.1. Energia eólica offshore

Conceitua-se energia eólica como a energia cinética contida no vento (massas de ar em movimento). Este movimento é aproveitado por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de eletricidade, ou cata ventos e moinhos, para trabalhos mecânicos como bombeamento de água.

Para a geração de eletricidade, as primeiras tentativas surgiram no final do século XIX, mas somente um século depois, com a crise internacional do petróleo (década de 1970), é que houve interesse e investimentos suficientes para viabilizar o desenvolvimento e aplicação de equipamentos em escala comercial.

Comparada a outras fontes energéticas, o aproveitamento eólico entra no grupo dos menos danosos ecologicamente. As usinas hidrelétricas, por exemplo, com notória participação na matriz energética do Brasil, afeta consideravelmente a fauna e flora desde sua construção. Espécies animais e vegetais da área submersa acabam por morrer. Os animais terrestres que não morrem, fogem de seu habitat, agora inundado. Os aquáticos sofrem impacto maior, pois, por causa da barragem, têm seu fluxo natural interrompido. São construídas escadas nas barragens, para que aqueles não morram de exaustão ao tentar repetir sua migração natural.

Os sistemas eólicos são menos danosos, como mencionado. Os principais traumas ambientais que causam são:

a) Em fazendas eólicas ocorre mortalidade de aves por impacto com as pás das turbinas, por isso não é recomendável a sua instalação em áreas de migração de aves, áreas de reprodução e áreas de proteção ambiental;

b) As turbinas de grande porte geram ruído audível significativo, de forma que existe regulamentação relativa à sua instalação na vizinhança de áreas residenciais. Entretanto, nas turbinas mais modernas o nível de barulho tem sido reduzido. O ruído é proveniente de duas fontes: o próprio fluxo de ar nas pás e os mecanismos na nacele (gerador, caixa de redução);

c) As pás das turbinas produzem sombras e/ou reflexos móveis que são indesejáveis nas áreas residenciais; este problema é mais evidente em pontos de latitudes elevadas, onde o sol tem posição mais baixa no céu. Dentre outros parâmetros que se podem relacionar são: o tamanho da turbina, seu design, números de pás, cor e números de turbinas em uma fazenda eólica. As máquinas de grande porte são objetos de muita visibilidade e interferem significativamente nas paisagens naturais; por isso podem existir restrições à sua instalação em algumas áreas (por exemplo, em áreas turísticas ou áreas de grande beleza natural);

d) Em parques eólicos as turbinas devem estar suficientemente distanciadas entre si para evitar a perturbação causada no escoamento do vento entre uma unidade a outra. Estes espaçamentos devem ser no mínimo de 5 a 10 vezes a altura da torre. Contudo a área do parque pode ser aproveitada para produção agrícola ou atividades de lazer.

Os itens citados têm suas agressões ao ambiente reduzidas no sistema *offshore*. Neste não se utiliza de terras e devido a sua distancia do litoral, a poluição auditiva (ruídos) e visual podem ser desprezíveis.

As populações de aves com rota transoceânica existem em menor quantidade do que as que migram na zona terrestre.

3.2. Sistemas eólicos offshore existentes

As indústrias da energia eólica focaram inicialmente sua atenção às turbinas de aplicação em terra e só mais recentemente aplicou a tecnologia *offshore*. Esta tem algumas vantagens em relação ao sistema convencional, como:·.

a) O vento no mar sopra, em média, durante mais horas e com mais força do que em terra, o que atribui um potencial eólico mais elevado;

b) Não há barreiras orográficas ou de terrenos a serem traspostas, o acesso às turbinas sendo possibilitado por barcos resulta em menos restrições para transporte do que em terra;

c) Disponibilidade de áreas maiores, o que abre a possibilidade de instalar maiores turbinas, sendo capaz de atingir maior retorno energético, reduzindo custos.

Em relação às desvantagens o sistema possui:

a) imersão na água do mar, que é corrosiva;

b) Dependência da profundidade e características climáticas da região. Por exemplo: Tempestades marítimas que possam danificar os equipamentos;

c) Custos elevados para as fundações das torres, instalação e manutenção, por serem mais sofisticadas.

Os sistemas *onshore* têm em média um preço de instalação de MW que gira em torno de um e dois milhões de euros, e para a operação e manutenção entre 10 e 12 euros por MWh, com o preço da turbina chegando a valer entre 70% e 80% o preço total do projeto.

Nos sistema *offshore* têm-se preços mais altos, com investimentos de 2 a 3 milhões de euros por MW instalado e custos de manutenção e serviço entre 15 aos 33 euros por MWh. Todavia, a curva de aprendizagem tecnologia do setor mostra queda do custo entre 15% e 20% a cada três anos, o que se prevê então é que o sistema em mar pode se igualar, futuramente, ao preço do *onshore* atual, aumentando a viabilidade daquele.

Os valores citados em euro não são ao acaso, pois é na Europa que este último sistema eólico tem sua maior utilização. Lá existem 1.247 turbinas eólicas *offshore* totalmente conectadas à rede, com capacidade total de 3294 MW em 49 parques eólicos distribuídos por nove países, sendo maiores geradores: Bélgica, Reino Unido, Alemanha e Noruega.

Só no primeiro semestre de 2011, 101 aerogeradores *offshore* foram totalmente conectados a rede de energia, totalizando 348,1 MW. 11 parques eólicos estão em construção, que depois de concluídos representarão uma capacidade total instalada de 28844 MW.

Tais dados demonstram o retorno compensatório da utilização do sistema ao mar, principalmente para os países europeus, com pouca área continental apta para uso eólico.

3.3. Potencial eólico do Brasil e do Rio Grande do Norte

Os primeiros estudos do potencial eólico do Brasil foram feitos na região Nordeste, principalmente no Ceará e em Pernambuco. Com o apoio da ANEEL e do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), o Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE), da Universidade Federal de Pernambuco(UFPE), foi publicado em 1998 a primeira versão do Atlas Eólico da Região Nordeste.

Em 2001 foi lançado a “Atlas do Potencia Eólico Brasileiro” que estimou em 143GW a 50 m e de 250 GW a 100 m o potencial eólico na parte continental do País. Do potencial apontado quase 80% (cerca de 114GW) já esta sendo utilizado, sendo assim, para continuar a crescimento na área da geração de eletricidade pela energia eólica deve-se começar a pensar na utilização do sistema eólico *offshore*.

A Companhia Energética do Rio Grande do Norte (COSERN), com um estudo lançado em 2003, estimou em 9,56 GW (50m de altura para áreas com ventos iguais ou superiores a 7,0m/s) o potencial eólico *onshore* do Rio Grande do Norte, foram consideradas curvas médias de desempenho de aerogeradores nas classes de 0,5 MW, 1,5 MW e 3 MW, com torres de 50, 75 e 100m de altura, respectivamente. Nos mapas gerados pelo estudo nota-se a alta incidência de ventos no litoral, que chegam a 9m/s, como nota-se na figura 1.

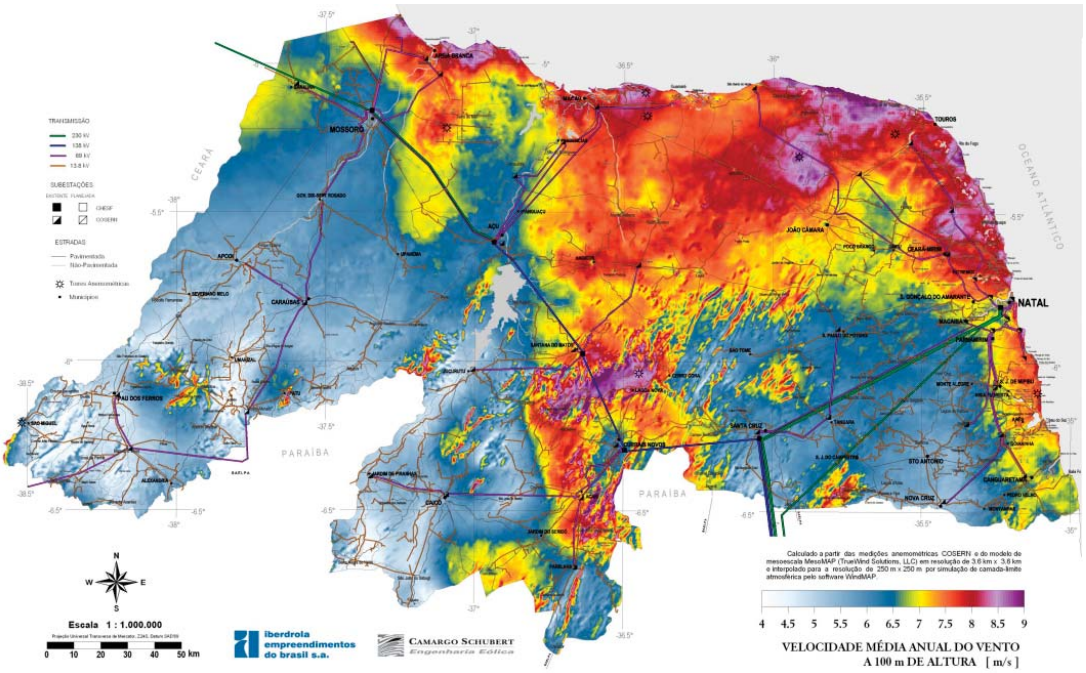


Figura 1: Mapa do Potencial eólico no RN

Fonte: COSERN (2011)

Os dados apontados mostram que quanto mais próximo da margem marítima do Estado, maiores serão os valores de velocidade média dos ventos, sugerindo então que na faixa de mar ao largo do RN as velocidades seriam iguais ou maiores do que as registradas, porém esses números não constam no estudo, que não avaliou regiões áreas abrangidas pelas principais lagoas, rios, represas e mar. Esta lacuna de informações foi preenchida com uma pesquisa lançada recentemente (ORTIZ, G.P., KAMPEL, M, 2011), na qual, com dados obtidos entre 1999 e 2009, estipulou-se o potencial *eólico offshore* brasileiro. A estimativa foi calculada com aerogeradores AREVA Wind M5000, de potencia nominal de 5 MW e 116 metros de diâmetro do rotor, com possibilidade para bases Tripod, revestida ou gravitacional.

O mapa de campo de vento apresentado na pesquisa mencionada, gerado através dados obtidos pelo satélite QuikSCAT, mostra uma média da magnitude do vento offshore no Brasil com variação entre 7 e 12m/s. Ainda neste mapa três regiões de alta intensidade de vento são destacadas: (I) margem de Sergipe e Alagoas, (II) Rio Grande do Norte e Ceará e (III) Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Percebe-se na margem marítima norte do RN valores entre 10 e 11 m/s (ver figura 2).

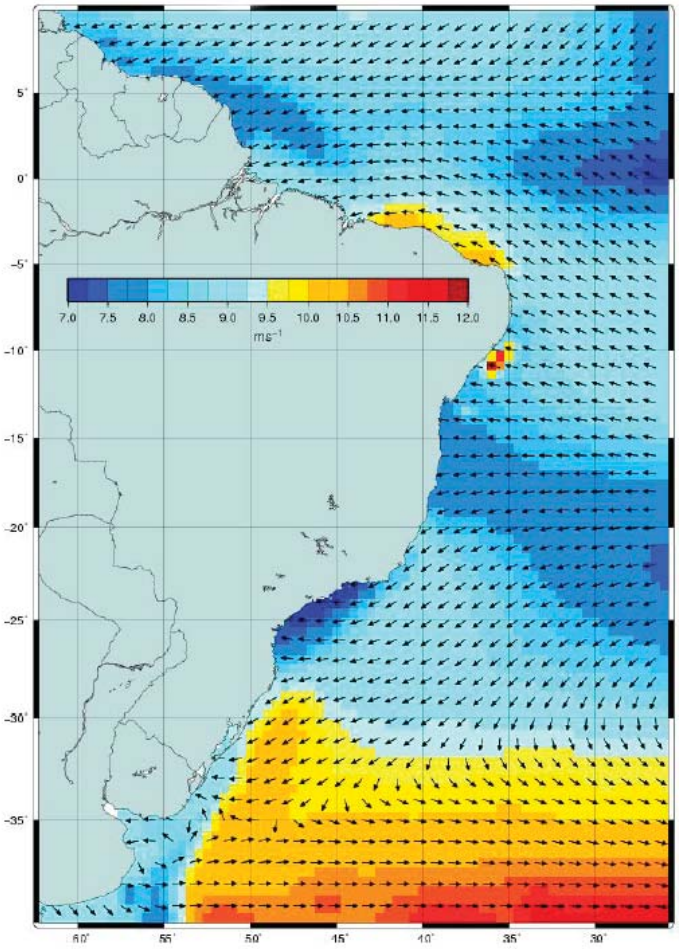


Figura 2: Campo de vento médio

Com estes dados calculou-se a densidade média de potencia, com base na seguinte equação:

$$P = \frac{1}{2}.\rho.v^3.A.\eta.C_p \qquad \text{[Eq.1]}$$

Na qual pode ser calculada a potencia em função da área analisada.

$$\frac{1}{2}.\rho.v^3.\eta.C_p = \frac{P}{A} \qquad \text{[Eq.2]}$$

Para chegar ao cálculo final da densidade de potencial eólico em função da área (em W/m²), considerou-se a densidade do ar (ρ), as eficiências mecânicas e elétricas do sistema de aerogeradores AREVA M5000 (η) e o coeficiente de desempenho aerodinâmico destes (Cp).

Depois de efetuados os devidos cálculos, gerou-se um mapa de densidade média de potencia. No qual a média de velocidade dos ventos assume valores entre 7 e 12 m/s próximos ao Brasil. Neste mapa se destaca uma faixa ao norte dos Estados do RN e do Ceará. No primeiro, uma extensão correspondente ao litoral norte (aproximadamente 215 km de extensão) com um potencial eólico estabelecido em função da área, entre 500 e 700 W/m².

No País Considerando toda a ZEE a variação ficou entre 215 e 968 W/m², com o potencial em cada pixel variando entre 4,7 e 21,2MW (Figura 3).

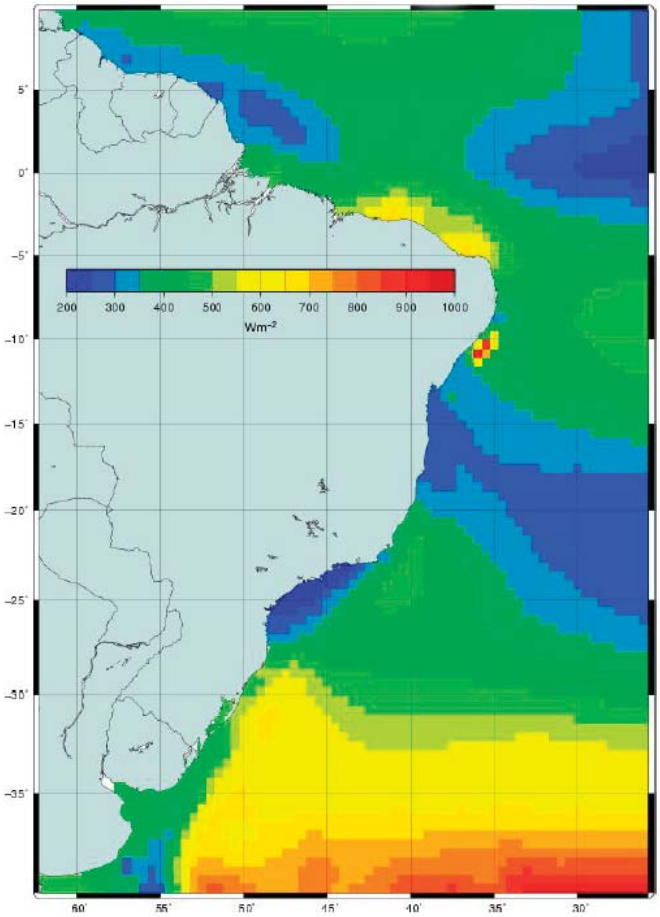


Figura 4: Campo de vento médio e Densidade média de potência no Atlântico Sudoeste

Consideradas a distancia em relação à costa e a profundida na qual os aerogeradores poderiam ser instalados, o potencial eólico offshore do Brasil, para toda a margem até 100 km de distancia da costa e com profundidade máxima de 100 m, seria de 606 GW, cerca de quatro vezes maior do que o potencial eólico apenas da zona continental (143GW).

Tabela 1: Potencial eólico em diferentes pontos na margem brasileira

Distância da costa	
0 a 10 km	57 GW
0 a 50 km	259 GW
0 a 100 km	514 GW
Intervalo batimétrico	
0 a 20 m	176 GW
0 a 50 m	399 GW
0 a 100 m	606 GW

4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS

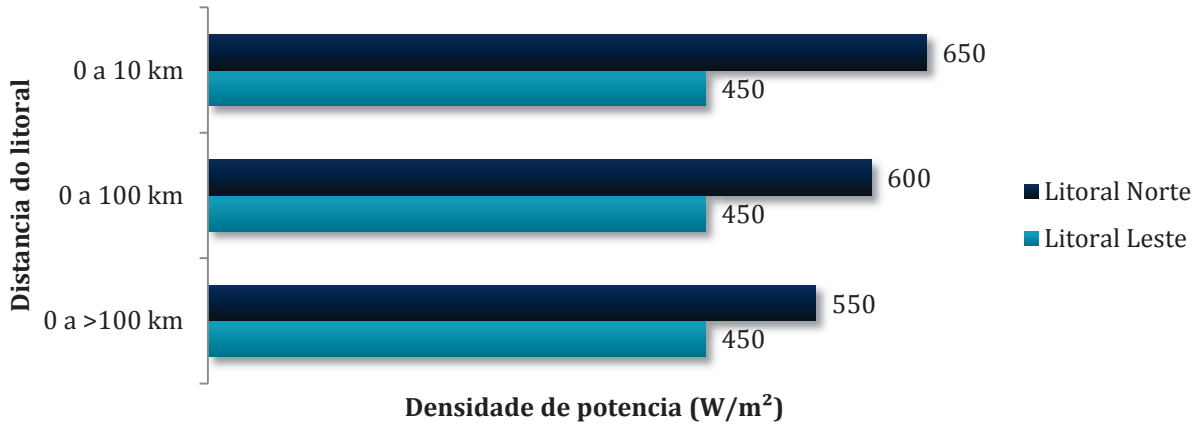
A energia eólica vem se mostrando uma ótima alternativa à outras fontes no País, o que pode ser comprovado por seu evidente crescimento no setor, e que ainda não alcançou seu limite de potencia.

Se o Brasil utilizasse todo a sua capacidade eólica, admitindo então os valores *onshore* e *offshore*, haveria a possibilidade de produzir até 794GW de energia eolielétrica, fonte esta que se somada ao restante da matriz energética nacional representaria um importante passo para uma menor dependência de fontes não renováveis, visando um cenário autossustentável de forma limpa o País. Para isso acontecer será necessário um massivo investimento dos setores público e privado, o ultimo com papel importante ao apresentar projetos condizentes para a utilização da energia eólica *offshore*.

Analisando os mapas apresentados por Ortiz et al. (2011), nas figuras 3 e 4, é perceptível uma área ao norte do RN, de grande velocidade de ventos e de densidade de potencia, um dos fatores necessários para o sistema eólico offshore ser viável para o Estado.

No mapa de densidade média de potencia, considerando a faixa de mar ao norte do RN, com valores entre 600 e 700 W/m², levando em consideração também a extensão do litoral norte do Estado, de aproximadamente 215 km (da divisa com o Ceará até o município de Touros), de 0 a 10 km da costa, com o rendimento dos aerogeradores M5000 (utilizados como base nos cálculos que geraram a figura 4), pode-se estimar um alto potencial eólico offshore para esta área. Comparando o litoral norte do Estado com o leste temos o Gráfico 2, abaixo:

Gráfico 2: Densidade de potencia no litoral norte e leste do RN



Os resultados obtidos na margem do Rio Grande do Norte e Ceará só são encontrados próximos ao Sul do País, e em distâncias maiores. Fato esse que pode ser considerado vantajoso, se levado em consideração o custo da instalação dos cabos de energia submersos, possivelmente se gastaria uma extensão menor destes em um sistema eólico offshore no RN do que no Rio Grande do Sul, por exemplo.

A região apontada é a de maior potencial eólico na costa norte rio-grandense, mas não só ela pode ser utilizada como fonte eolielétrica. Grande parte dos mais de 400 km de extensão da margem do Estado possui ventos com intensidades superiores a 9 m/s (Figura 3), valores condizentes com as velocidades máximas encontradas na área continental do Estado (Figura 2).

O potencial eólico *onshore* do RN é promissor, existem no Estado cinco parques em funcionamento e outros doze em construção, que juntos alavancarão a geração eolielétrica para mais de 500MW, ainda longe do potencial total estimado (9,56 GW).

Em relação a custos, a evolução dos sistemas offshore reduz em 30% os preços de construção e instalação dos aerogeradores *offshore* a cada 3 anos. Porcentagem esta que pode aumentar nos próximos anos, fazendo com que o sistema *offshore* iguale preços com o *onshore* atual.

Com todos estes dados levantados pode-se constatar a viabilidade de implantação de um sistema de energia eólica *offshore*.

5. CONCLUSÃO

Estabeleceu-se, por fim, uma faixa de mar ao norte do RN com alto potencial eólico, ainda que não se descarte o potencial de geração ao longo de toda a costa potiguar.

O sistema eólico *offshore* é viável para o Rio Grande do Norte, ainda que se faça necessária uma análise de caso para cada aerogerador a ser instalado, assim como ocorre *onshore*, com diferença na analise de fatores como batimetria, rota de animais marinhos e embarcações e características da água no local de instalação.

Esta fonte energética vem tendo os custos decaídos (cerca de 30% a cada três anos) o que, junto com o alto potencial eólico do Estado, viabilizaria economicamente a tecnologia. Com preços por MW instalados equiparáveis aos de outras fontes energéticas e menor agressão ambiental em vista estas, o sistema eólico em mar se tornaria uma alternativa rentável ou até mesmo necessária.

Segundo Trapp (2009) apesar da tecnologia *offshore* apresentar certas vantagens, a grande disponibilidade de terras sem uso no Brasil torna as fazendas eólicas *onshore* mais atrativas, já que o investimento inicial neste tipo de tecnologia é muito mais baixo e a realização da manutenção envolve muito menos dificuldades.

Ainda segundo a autora verifica-se que com a seleção de um local adequado e com a utilização de turbinas corretas, já é tecnicamente viável a instalação de parques eólicos *offshore* na costa do Brasil.

Ponderando que o RN ainda não atingiu nem metade de seu potencial eólico em terra, a implantação de um sistema offshore se mostra uma alternativa para um possível panorama futuro, onde o potencial *onshore* estiver próximo à saturação. O Estado não estagnaria na geração eolielétrica, considerada limpa. Não necessitando, então, de fontes não renováveis para suprir a demanda energética da população, alcançando um cenário sustentável.

REFERÊNCIAS BILIOGRÁFICA

MALHEIROS, Márcia Rita Trindade Leite . Pesquisa na Graduação. Disponível em: www.profwillian.com/_diversos/download/prof/marciarita/Pesquisa_na_Graduacao.pdf. Acessado em: 27/04 de 2010.

ORTIZ, G.P.; KAMPEL, M. **Potencial de energia eólica offshore na margem do Brasil**. In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE OCEONOGRAFIA, 2011, São Paulo. p. 1-3

AMARANTE, O.A.C.; Brower, M.; Zack, J & Sá, A.L.; 2001, **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**, Ministério de Minas e Energia - Brasília, Brasil, disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/atlas_eolico_brasil/atlas.htm

ANEEL; 2011, **Banco de Informações de Geração**, Agência Nacional de Energia Elétrica - Brasília, Brasil, disponível em: http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=15

EWEA; 2011, Offshore statistics, The European Wind Energy Association, disponível em: http://www.ewea.org/index.php?id=1884

SALLES, Ana Claudia Nioac. **Metodologias de análise de risco para avaliação financeira de projetos de geração eólica**. 2004. 93f. Tese (Pós-graduação em Engenharia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

VITERBO, Jean Carlo. **Geração de energia elétrica a partir da fonte eólica offshore**. 2008. 168f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

TRAPP, Beatriz Cristina**. Análise de viabilidade de uma fazenda eólica offshore no Rio Grande do Sul**. 2009. 25f. Monografia (Graduação em Eng. Mecânica) – Universidade federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2009.

COSERN; 2011, **Banco de dados da Companhia Energética do Rio Grande do Norte** – Rio Grande do Norte, Brasil, disponível em: http://www.cosern.com.br

LEMGRUBER, Wanderley de Sousa. **Impacto ambiental de hidrelétricas: uma análise comparativa de duas abordagens**. 2000. 160f. Tese (Pós-graduação em Engenharia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

CE-EÓLICA; **Perguntas frequentes sobre energia eólica**, Centro de Energia Eólica, disponível em: http://www.pucrs.br

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
RIO GRANDE DO NORTE