

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO RIO GRANDE DO NORTE

ROBSON GARCIA DA SILVA

**DIAGNÓSTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS E DESPERDÍCIOS DE UMA
CERÂMICA VERMELHA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE TÉCNICAS DE
PRODUÇÃO MAIS LIMPA**

NATAL-RN

2017

ROBSON GARCIA DA SILVA

**DIAGNÓSTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS E DESPERDÍCIOS DE UMA
CERÂMICA VERMELHA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE TÉCNICAS DE
PRODUÇÃO MAIS LIMPA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, na linha de pesquisa de Sustentabilidade e Gestão dos Recursos Naturais.

Orientador: D.r Valdenildo Pedro da Silva

NATAL-RN
2017

Silva, Robson Garcia da
S586d Diagnóstico dos resíduos sólidos e desperdícios de uma cerâmica vermelha para implementação de técnicas de produção mais limpa / Robson Garcia da Silva. – 2017.
138 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

Orientador: D.r. Valdenildo Pedro da Silva.

1. Produção mais limpa. 2. Resíduos sólidos. 3. Desperdícios. 4. Cerâmica vermelha. I. Silva, Valdenildo Pedro da. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte III. Título.

CDU 502

Catálogo na publicação elaborada pela Seção de Informação e Referência da
Biblioteca Sebastião Fernandes do IFRN

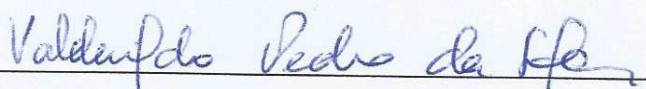
ROBSON GARCIA DA SILVA

**DIAGNÓSTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS E DESPERDÍCIOS DE UMA
CERÂMICA VERMELHA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE TÉCNICAS DE
PRODUÇÃO MAIS LIMPA**

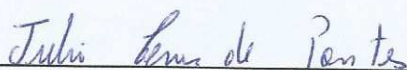
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, na linha de pesquisa de Sustentabilidade e Gestão dos Recursos Naturais

Dissertação apresentada e aprovada em: 18 / 05 / 2017 pela seguinte banca examinadora:

BANCA EXAMINADORA



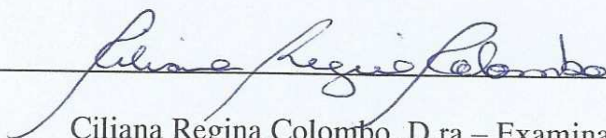
Valdenildo Pedro da Silva, D.r – Presidente
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte



Júlio Cesar de Pontes, D.r – Examinador interno
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte



José Nildo Galdino, D.r – Examinador externo
Centro de Tecnologia do Gás e Energias Renováveis



Ciliana Regina Colombo, D.ra – Examinadora externa
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

RESUMO

Apesar da atual evidência das discussões acerca da sustentabilidade, poucos estudos científicos ou diagnósticos ambientais e de processos têm sido produzidos no que concerne à geração de resíduos sólidos e ao desperdício de insumos na indústria da cerâmica vermelha ou estrutural. Este estudo, portanto, visando à implementação de técnicas de produção mais limpa, buscou diagnosticar a geração dos resíduos sólidos e dos desperdícios de argila, água, energia elétrica e pó de serragem no processo produtivo da Vilar Produtos Cerâmicos, localizada em Tangará, Rio Grande do Norte, com base na metodologia de implementação de técnicas de produção mais limpa do Centro Nacional de Tecnologias Limpas do SENAI. O método selecionado, envolvendo etapas como o comprometimento gerencial, a identificação de barreiras, a busca de soluções, o desenvolvimento de fluxograma da produção e o diagnóstico ambiental e de processo, englobou revisões de literaturas nacionais e internacionais, pesquisas documentais e estudo de caso. Nesse contexto, o estudo incluiu visitas técnicas, observações e análises de entradas de insumos na empresa (argila, água, energia elétrica e pó de serragem); de saídas (blocos produzidos em conformidade, geração de resíduos sólidos e desperdício de insumos); e de retroações (reúso de resíduos sólidos) do processo produtivo. Os resultados mostraram uma situação de geração de resíduos sólidos e de desperdícios, sobretudo, nos processos de extrusão, corte, secagem e queima. Foram gerados 11,626t de resíduos sólidos (ou 92,74% do total de resíduos) e, conseqüentemente, 974,4l de água residual (ou 87,12% do total de água residual). Nessa situação, constatou-se que os principais desperdícios foram de argila, água e energia elétrica, devido à ineficiência no consumo desses insumos, causando impactos adversos à empresa e ao meio ambiente. Concluiu-se, portanto, que o processo produtivo, mesmo com as inovações tecnológicas da empresa, mostrou-se ineficiente quanto ao consumo de argila, água e energias, já que resíduos sólidos e desperdícios, que poderiam ser reduzidos, foram gerados demasiadamente. Por outro lado, a implementação de técnicas de produção mais limpa pode minimizar a geração dos resíduos e os desperdícios, aumentando a eficiência do uso de insumos e a melhoria das atividades de produção, traduzindo-se em benefícios socioeconômicos e ambientais mais sustentáveis para os que compõem a empresa e a sociedade.

Palavras-chave: Produção mais limpa. Resíduos sólidos. Desperdícios. Cerâmica vermelha.

ABSTRACT

Despite the current evidence of sustainability discussions, few scientific studies or environmental and process diagnoses have been produced with regard to the generation of solid waste and the wastage of inputs in the red or structural ceramics industry. This study, therefore, aimed the implementation of cleaner production techniques, sought to diagnose the generation of solid waste and wastage of clay, water, electricity and sawdust powder in the production process of Vilar Produtos Cerâmicos, located in Tangará, Rio Grande do Norte, based on the methodology of implementation of cleaner production techniques of the National Cleaner Production Centres from SENAI. The selected method, involving steps such as management commitment, the identification of barriers, the search for solutions, the development of a production flowchart and the environmental and process diagnosis, included revisions of national and international literature, documentary research and case study. In this context, the study included technical visits, observations and analysis of inputs in the company (clay, water, electricity and sawdust); outputs (blocks produced accordingly, generation of solid waste and wastage of inputs); and of feedback (reuses of solid waste) of the productive process. The results showed a situation of generation of solid waste and wastages, mainly in the processes of extrusion, cutting, drying and burning. 11.626t of solid waste (or 92.74% of the total waste) were generated and, consequently, 974.4l of residual water (or 87.12% of the total wastewater). In this situation, it was verified that the main wastages were of clay, water and electric energy, due to the inefficiency in the consumption of these inputs, causing adverse impacts to the company and to the environment. It was concluded, therefore, that the productive process, even with the technological innovations of the company, was inefficient in the consumption of clay, water and energy, since solid waste and wastages, that could be reduced, were generated too much. On the other hand, the implementation of cleaner production techniques can minimize waste generation and wastage, increasing the efficiency of input use and improving production activities, translating into more sustainable socio-economic and environmental benefits for those who make up the company and society.

Keywords: Cleaner production. Solid waste. Wastage. Red ceramics.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA	9
1.2	PROBLEMA DA PESQUISA	10
1.3	JUSTIFICATIVA	14
1.4	OBJETIVOS	15
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO	16
2.1	DIAGNÓSTICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E DESPERDÍCIOS	16
2.2	PRODUÇÃO MAIS LIMPA	19
2.3	TÉCNICAS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA	23
2.4	SUSTENTABILIDADE	26
2.5	CERÂMICA VERMELHA	28
2.5.1	Argilas para cerâmica vermelha	28
2.5.2	Etapas e processos produtivos da cerâmica vermelha	31
2.5.3	Blocos cerâmicos para vedação	33
3	METODOLOGIA	35
3.1	DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	35
3.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	39
3.2.1	Levantamento de referências nacionais e internacionais sobre Produção mais limpa, sustentabilidade e cerâmica vermelha visando construir os contributos teórico-práticos da dissertação	40
3.2.2	Sensibilização da gerência da empresa e identificação de barreiras e soluções para realização do diagnóstico, visando definir sua abrangência e organização do ecotime	41
3.2.3	Elaboração do fluxograma qualitativo do processo produtivo, almejando visualizar e definir os fluxos da produção	42
3.2.4	Quantificação de entradas, saídas e retroações (reúso)	42
3.2.4.1	Quantificação de entradas	43
3.2.4.2	Quantificação de saídas	44
3.2.4.3	Quantificação de retroações (reúso)	46
3.2.3	Definição dos processos de maior geração de resíduos sólidos e desperdícios de insumos, aspirando a identificação de oportunidades para minimização dos resíduos	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1	PRODUÇÃO MAIS LIMPA, SUSTENTABILIDADE E CERÂMICA VERMELHA: LEVANTAMENTO E CONTRIBUTOS TEÓRICO-PRÁTICOS	48

4.1.1	Mudanças de matérias-primas ou insumos	50
4.1.2	Mudanças no produto	53
4.1.3	Boas práticas operacionais	54
4.1.4	Boas práticas operacionais, reúso ou reciclagem interna e mudanças de matérias-primas ou insumos	54
4.1.5	Mudanças tecnológicas de processo	55
4.1.6	Reúso ou reciclagem interna e mudanças de matérias-primas ou insumos	55
4.1.7	Reúso ou reciclagem interna, mudanças de matérias-primas ou insumos e mudanças no produto	56
4.1.8	Reúso ou reciclagem externa	57
4.1.9	Lacunas e desafios	58
4.2	DIAGNÓSTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS E DESPERDÍCIOS DA CERÂMICA VERMELHA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE TÉCNICAS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA	59
4.2.1	Elaboração do fluxograma qualitativo do processo produtivo	60
4.2.2	Quantificação de entradas, saídas e retroações	62
4.2.3	Processos de maior geração de resíduos sólidos e desperdícios de insumos e identificação de oportunidades para minimização dos resíduos	65
5	CONCLUSÕES	73
	REFERÊNCIAS	76
	APÊNDICE A – Produção mais limpa: contributos teórico-práticos para a sustentabilidade da cerâmica vermelha	84
	APÊNDICE B – Diagnóstico dos resíduos sólidos e desperdícios de uma cerâmica vermelha para implementação de técnicas de produção mais limpa	102
	APÊNDICE C – Formulário de coleta de dados primários da empresa	125
	APÊNDICE D – Informações padrões de entradas e saídas do ciclo de produção	129
	APÊNDICE E – Quantidade de máquinas, motores e suas potências	130
	APÊNDICE F – Dados de entradas e saídas da produção	131
	ANEXO A – Carta de aceite para publicação na revista cerâmica	137
	ANEXO B – Revista interciência	138

1 INTRODUÇÃO

A presente dissertação, intitulada “diagnóstico dos resíduos sólidos e desperdícios de uma cerâmica vermelha para implementação de técnicas de produção mais limpa”, está estruturada além desta parte introdutória — na qual constam a contextualização do tema e do problema da pesquisa, a justificativa e os objetivos —, do referencial teórico, da metodologia, dos resultados e discussão, das conclusões, das referências consultadas, de apêndices e, por fim, de anexos. Convém destacar, ainda, nesta dissertação, a produção de dois artigos científicos, nos apêndices, os quais apresentam os resultados e as principais contribuições deste estudo. O primeiro artigo, intitulado “Produção mais limpa: contributos teórico-práticos para a sustentabilidade da cerâmica vermelha” (APÊNDICE A), foi submetido e aprovado (ANEXO A) para publicação na Revista Cerâmica, ISSN 1678-4553, versão on-line, classificada como B1 na área de Ciências Ambientais e disponível no site www.scielo.br/ce. O segundo, cujo título é “Diagnóstico dos resíduos sólidos e desperdícios de uma cerâmica vermelha para implementação da produção mais limpa” (APÊNDICE B), será submetido para publicação na Revista Interciência, ISSN 0378-1844, versão on-line, classificada como B1 na área de Ciências Ambientais e disponível no site <http://www.interciencia.org/homep.htm>, conforme ANEXO B.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

A indústria de cerâmica vermelha ou estrutural brasileira tem representado, atualmente, 4,8% da indústria da construção civil, possuindo cerca de 6.903 empresas, produzindo aproximadamente 71 bilhões de peças por ano, sendo responsável por mais de 90% das coberturas de telhado e paredes de blocos de vedação do país. As empresas do setor cerâmico têm faturado R\$ 18 bilhões por ano e gerado cerca de 293 mil empregos diretos (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA, 2015; SOUZA et al., 2015).

O setor constitui uma importante atividade econômica do Rio Grande do Norte (RN), onde é composto, majoritariamente, por microempresas de gestão familiar ou associativa e tem gerado empregos, sobretudo, para as populações de baixas rendas localizadas em zonas rurais.

Nos últimos anos, o estado tem apresentado 186 empresas, distribuídas em 4 polos cerâmicos, quais sejam, o do Oeste, o do Baixo Assu, o do Seridó e o da Grande Natal (SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICROS E PEQUENAS EMPRESAS, 2013). As empresas têm produzido cerca de 1,3 bilhão de produtos por ano sendo a maioria, 55%, vendido no próprio estado. 60% dessas vendas tem sido destinada para depósitos de material de

construção, 18% para construtoras e o restante, 22%, para outros consumidores como pessoas físicas. As empresas deste setor têm faturado aproximadamente R\$ 208 milhões por ano e gerado cerca de 6.600 mil empregos diretos (SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICROS E PEQUENAS EMPRESAS, 2013).

O processo produtivo da cerâmica vermelha se inicia com a extração da argila (matéria-prima), seguida pela estocagem, alimentação, desintegração, homogeneização ou mistura da argila, laminação, extrusão, corte (para blocos de vedação e lajotas), prensagem (para telhas), secagem, queima e estocagem de produtos para expedição ou venda (SILVA et al., 2014). Além da argila, tal processo utiliza como principais insumos, água, lenha, energia térmica e energia elétrica (OLIVEIRA, 2011).

Almejando produtividade e sustentabilidade na produção, empresas do segmento têm buscado aderir o Programa Setorial da Qualidade (PSQ) do governo federal e à participação em projetos como o Cerâmica Sustentável é + Vida. Além disso, destaca-se que uma das inovações no setor ceramista tem sido o do uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de produtos, como telhas e blocos, em comparação com a produção de concreto (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA, 2015; SOUZA et al., 2015).

No entanto, tal segmento industrial ainda tem apresentado alguns problemas como a geração de resíduos sólidos e desperdícios de argila, de água, de energia elétrica e de biomassa vegetal, como pode ser constatado, por exemplo, nos estudos de Grigoletti e Sattler (2003), Almeida et al. (2009), Maciel e Freitas (2013) e Morais et al. (2015).

1.2 PROBLEMA DA PESQUISA

A empresa Vilar Produtos Cerâmicos, localizada em Tangará-RN, tem buscado elevar a produtividade de produtos cerâmicos com sustentabilidade por meio de inovações tecnológicas, como a implantação da secagem artificial com reaproveitamento de calor do forno, da adesão ao programa de qualidade, como o PSQ, e com o reúso de resíduos de outras indústrias, como o uso de pó de serragem de serrarias e movelarias, em detrimento da lenha. Mesmo assim, a empresa tem apresentado problemas com relação à geração de resíduos sólidos, constituídos por material argiloso cru e por tijolos ou blocos cozidos defeituosos ou quebrados gerados durante a fabricação, e os desperdícios de argila, de água, de energia elétrica e pó de

serragem, os quais tem só aumentado os custos sem agregação de valor ao produto na produção (OHNO, 1997)¹.

Durante a realização da pesquisa exploratória, por meio de observação simples do processo produtivo da Vilar Produtos Cerâmicos e entrevista informal junto ao administrador dessa empresa, viu-se a geração de resíduos e desperdícios principalmente nos processos de extrusão, corte, secagem e queima. No processo de extrusão, o qual a máquina extrusora recebe o material argiloso para formar uma massa crua moldada por meio de uma boquilha, e no processo de corte, cujo cortador pneumático corta a massa formando os blocos, têm ocorrido a geração de blocos crus úmidos defeituosos (Figuras 1 e 2):

Figura 1 – Blocos crus úmidos defeituosos após a saída da boquilha da extrusora.



Fonte: autoria própria (2016).

Figura 2 – Blocos crus úmidos defeituosos após o corte.



Fonte: autoria própria (2016).

¹ É o criador do Sistema Toyota de Produção (STP). Para ele há 7 classificações de desperdícios: superprodução, espera, transporte, processamento, estoque, movimentação e produtos defeituosos.

No processo de secagem, que na empresa tem sido de forma artificial (dentro de uma estufa, onde entra ar quente reaproveitado do processo de queima) tem ocorrido a geração de blocos crus secos defeituosos, com trincas ou deformações (Figura 3).

Figura 3 – Bloco cru seco trincado (A), bloco cru seco deformado (B) e blocos crus secos com essas não conformidades (C) sendo transportados para serem reutilizados na estocagem de argila.



Fonte: autoria própria (2016).

Os blocos crus defeituosos gerados até o processo de secagem têm sido reutilizados no processo de alimentação e também no estoque de argilas (Figura 4), evitando desperdícios da matéria-prima. Por outro lado, pode estar ocorrendo o desperdício de água, uma vez que o resíduo possui umidade e, quando lançado ao estoque de argilas, fica a céu aberto, contribuindo para a evaporação da água. Também pode estar ocorrendo o desperdício de energia elétrica visto que os processos de extrusão e secagem artificial, que geraram os blocos crus defeituosos, têm usado máquinas e, portanto, consumindo energia elétrica.

Figura 4 – Reutilização de blocos crus secos defeituosos na estocagem de argila.



Fonte: autoria própria (2016).

Por fim, o processo de queima dos blocos secos pode ser o de maior geração de resíduos sólidos e desperdícios de insumos no processo produtivo da empresa. Na Figura 5 pode ser visto a pilha de blocos cozidos defeituosos dentro do forno da cerâmica. Os resíduos gerados na queima, diferente dos resíduos dos outros processos, não têm sido reutilizados no processo produtivo, pois a empresa não dispõe de tecnologia para realizar a reciclagem desses resíduos. Assim sendo, pode estar ocorrendo desperdícios de argila, energia elétrica e pó de serragem (combustível usado na queima).

Figura 5 –Blocos cozidos defeituosos gerados no processo de queima.



Fonte: autoria própria (2016).

A indústria de cerâmica vermelha gera em seu processo grande quantidade de resíduos sólidos, e que, se dispostos de forma inadequada, podem ocasionar impactos ambientais adversos (MORAIS et al., 2015). Conhecer os aspectos qualitativos, ou seja, os tipos de resíduos sólidos e os aspectos quantitativos, isto é, a quantidade gerada é fundamental para gerenciá-los de forma ambientalmente adequada (SOUTO; POVINELLI, 2013). Nesse sentido, etapas para implementação da Produção mais Limpa (P+L), como a elaboração de um fluxograma qualitativo da produção e a quantificação de entradas de insumos e saídas de resíduos, pode permitir um melhor conhecimento das origens dos resíduos e desperdícios e oferecer possibilidades de redução na fonte (MACIEL; FREITAS, 2013). Portanto, em outras palavras, etapas de P+L ajudam no diagnóstico qualitativo e quantitativo da geração de resíduos sólidos e desperdícios de insumos de um processo produtivo.

Diante dessa contextualização teórica e, particularmente, da contextualização empírica na Vilar Produtos Cerâmicos de Tangará-RN, permite-se afirmar que na empresa tem-se um processo produtivo no qual se resente da presença de técnicas que evitem ou minimizem os resíduos sólidos e desperdícios de argila, água, energia elétrica e pó de serragem. Ademais,

pouco se sabe sobre a situação qualitativa e quantitativo do consumo de insumos e geração desses resíduos e desperdícios no ciclo de produção, ou seja, o período de tempo em que os processos produtivos levam para produzir uma certa quantidade de blocos cozidos, desde a alimentação a queima do bloco.

Em consequência disso, o problema desta pesquisa pode ser sintetizado na seguinte questão: qual é a real situação da geração de resíduos sólidos e desperdícios de argila, de água, de energia elétrica e de pó de serragem do ciclo de produção da Vilar Produtos Cerâmicos de Tangará-RN, com base na metodologia de implementação de técnicas de produção mais limpa do Centro Nacional de Tecnologias Limpas, almejando benefícios ambientais e econômicos para a empresa?

A hipótese da pesquisa é a de que o ciclo de produção da empresa apresenta uma situação de geração de resíduos sólidos e desperdícios de argila, de água, de energia elétrica e de pó de serragem, sobretudo, nos processos de extrusão, corte, secagem artificial e queima, a partir da utilização da metodologia de implementação de técnicas de produção mais limpa do Centro Nacional de Tecnologias Limpas (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2003a).

1.3 JUSTIFICATIVA

A principal motivação para realização desta pesquisa é que tem se percebido, empiricamente, que a empresa Vilar Produtos Cerâmicos de Tangará-RN tem implantado inovações tecnológicas, aderindo à programa de qualidade do setor cerâmico (PSQ) e demonstrado, de um certo modo, preocupação com o uso sustentável de recursos naturais, ao realizar reúso de pó de serragem e reaproveitar calor do forno para secagem artificial. Contudo, a indústria tem apresentado uma geração de resíduos sólidos e desperdícios de argila, de água, de energia elétrica e pó de serragem no decorrer de seu processo produtivo. Sendo assim, tais problemas tem sido a justificativa principal para consecução desta pesquisa.

Nesse sentido, torna-se importante tal pesquisa à medida em que os resultados alcançados podem ter utilidade teórica, servindo como base teórica para outras pesquisas nos âmbitos de graduação e pós-graduação, visto que na literatura nacional, sobretudo em periódicos, há escassez de pesquisas centradas em diagnóstico de resíduos sólidos e desperdício de insumos para implementação da P+L na indústria de cerâmica vermelha. Ademais, a pesquisa pode ter, também, utilidade prática, pois a metodologia considerada neste estudo poderá ser adotada e melhorada a fim de ser aplicada em outras cerâmicas vermelhas.

Quanto à relevância social, a pesquisa pode promover um ganho de conhecimento para os funcionários da empresa, tendo em vista suas participações diretas no diagnóstico da situação dos resíduos sólidos e desperdícios nos processos produtivos da empresa.

Por fim, a elaboração desse diagnóstico na empresa Vilar Produtos Cerâmicos de Tangará-RN, pode contribuir, no futuro, como um estudo base para implementação de técnicas de P+L na empresa, o que pode trazer benefícios ambientais como o uso eficiente de recursos naturais e redução de resíduos sólidos e desperdícios, além de benefícios econômicos, como a diminuição de custo na produção, e melhoria da imagem da empresa frente aos seus clientes, fornecedores e demais *stakeholders*.

1.4 OBJETIVOS

Nesta seção, visando o alcance pleno do desenvolvimento da pesquisa e na tentativa de solucionar o problema exposto, definiu-se como objetivo geral diagnosticar a geração dos resíduos sólidos e de desperdícios de argila, de água, de energia elétrica e de pó de serragem do processo produtivo da Vilar Produtos Cerâmicos de Tangará-RN, com base na metodologia de implementação de técnicas de produção mais limpa do Centro Nacional de Tecnologias Limpas do SENAI. Procurando aprofundar as intenções expressas do objetivo geral, definiu-se os seguintes objetivos específicos:

- a) levantar referências nacionais e internacionais sobre produção mais limpa, sustentabilidade e cerâmica vermelha, visando construir os contributos teórico-práticos do estudo em pauta;
- b) sensibilizar a gerência da empresa e identificar barreiras e soluções para realização do diagnóstico, visando definir sua abrangência e organizar ecotime;
- c) elaborar fluxograma qualitativo do processo produtivo, almejando visualizar e definir os fluxos da produção;
- d) quantificar as entradas de insumos, como argila, água, energia elétrica e pó de serragem; de saídas, como blocos produzidos em conformidade, geração de resíduos sólidos e desperdício de insumos; e de retroações (reúso) do processo produtivo, tendo em vista um diagnóstico ambiental e de processo;
- e) definir os processos de maior geração de resíduos sólidos e desperdícios de insumos, aspirando a identificação de oportunidades para minimização dos resíduos, caso venha a ser implementadas técnicas de P+L.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção apresenta-se uma discussão dos principais marcos teóricos do estudo, que são: diagnóstico de resíduos sólidos e desperdícios, produção mais limpa, técnicas de produção mais limpa, sustentabilidade e cerâmica vermelha.

2.1 DIAGNÓSTICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E DESPERDÍCIOS

Diagnóstico, também relativo a diagnose, significa de dia, através de *gignóska*, conhecer, saber sobre algo (DIAGNÓSTICO, 2004). No âmbito das ciências ambientais, o termo tem sido compreendido como diagnóstico ambiental, que consiste na descrição da situação atual ou das condições ambientais existentes em uma determinada área. A abrangência e a profundidade desse tipo de diagnóstico dependerão dos objetivos e do escopo do estudo (SÁNCHEZ, 2006). Por exemplo, o diagnóstico de fontes de poluição de águas de uma certa indústria, é um levantamento da situação real da indústria quanto ao seu potencial poluidor. Portanto, o estudo pode abranger desde o levantamento de dados gerais da empresa, como o endereço, tipo de indústria, número de funcionários, regime de trabalho, bem como sobre a origem da água, quantidade consumida, vazão de efluente gerado, local de disposição, vazão da água no corpo receptor e caracterização dos efluentes gerados (DERÍSIO, 2012).

No contexto da metodologia da P+L, o termo é utilizado como sendo diagnóstico ambiental e de processo, que significa o levantamento de todos os dados para a implementação dessa metodologia. Ou seja, ele constitui-se como a base de dados da P+L, isto é, uma “fotografia” da real situação da empresa mediante sua interação com o meio ambiente. Assim sendo, tal diagnóstico deve possibilitar o reconhecimento: dos principais insumos utilizados no(s) processo(s) produtivo(s), inclusive os toxicologicamente mais importantes com respectiva quantidade utilizada e custo de aquisição; do volume de produtos produzidos; dos principais equipamentos utilizados no(s) processo(s) produtivo(s); das fontes de abastecimento e finalidades do uso de água, bem como do tipo de tratamento utilizado; do consumo de energia; do consumo de combustíveis; dos locais de armazenamento e formas de acondicionamento de matérias-primas, insumos e produtos; da conformidade ou não com a legislação ambiental; dos resíduos sólidos gerados, a forma de acondicionamento, o local e tipo de armazenamento e a sua destinação final; da existência ou não de emissões atmosféricas e sistemas de controle utilizados; da existência ou não de efluentes líquidos e sistemas de tratamento utilizados; dos custos relativos ao controle dos resíduos gerados (principalmente de armazenamento,

tratamento, transporte, disposição) e desperdícios de insumos (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2003b).

Nesse sentido, pode-se afirmar que o diagnóstico, a ser realizado neste trabalho, se constituirá numa descrição da situação atual do processo produtivo dessa empresa em relação à geração de resíduos sólidos e de desperdícios de argila, de água, de energia elétrica e de pó de serragem, visando a identificação de oportunidades e minimização dos resíduos, caso venha a ser implementadas técnicas de P+L. Para melhor entendimento serão discutidos a seguir os conceitos de resíduos sólidos e desperdícios.

A palavra resíduo, originária do latim *residuu*, significa aquilo que sobra após a utilização de determinadas substâncias (RIBEIRO; MORELLI, 2009). Os resíduos podem ser líquidos, gasosos e sólidos. No Brasil, resíduos sólidos, objeto de estudo nesta dissertação, têm seus conceitos mais conhecidos e utilizados os que são preconizados na Norma Brasileira Registrada (NBR) nº 10.004/2004, sobre classificação de resíduos sólidos, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e mais recentemente na Lei 12.305/2010, Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A primeira conceitua resíduos sólidos como “resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 1). A segunda entende que os resíduos sólidos são materiais, substâncias, objetos ou bens descartados resultantes de atividades humanas em sociedade, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para tanto soluções técnica ou economicamente inviáveis em detrimento da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Não obstante dos conceitos apresentados acima, sob a ótica da P+L, entende-se que resíduos sólidos é um termo para designar descargas de materiais inúteis, indesejáveis com conteúdo líquido insuficiente para que possa fluir livremente, nos estados sólido e semissólido, resultantes de processos ou atividades da comunidade, de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, serviços e de varrição (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2003b; UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 1991; UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 1996).

Quanto a classificação dos resíduos sólidos a NBR 10.004 define três classes, a saber:

- a) classe I (perigosos): são aqueles que em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, podem apresentar: (i) risco à saúde pública, provocando mortalidade,

- incidência de doenças ou acentuando seus índices; (ii) riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004);
- b) classe IIA (não perigosos, não inertes): são os que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I (perigosos) ou de resíduos classe IIB (inertes) e podem ter propriedades, tais quais: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004);
- c) classe IIB (não perigosos, inertes): são os resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Por outro lado, a PNRS designa duas classificações para os resíduos sólidos: quanto à origem, como os resíduos domiciliares, de limpeza urbana, industriais, de serviços de saúde, dentre outros, e quanto à sua periculosidade, como: (i) resíduos perigosos, os que em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, representam expressivo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental; (ii) resíduos não perigosos, aqueles que não se enquadram no item “i” (BRASIL, 2010).

Cabe destacar que os resíduos sólidos objetos de estudo no presente trabalho foram os gerados durante a fabricação, quais sejam: os materiais argilosos (massas cruas de argila), as rebarbas de blocos crus, os blocos crus defeituosos, os blocos crus secos defeituosos e, por fim, os blocos cozidos defeituosos.

Outro conceito abordado neste estudo é o de desperdícios. Esses, para Ohno (1997), constituem como elementos de uma dada produção que só aumentam os custos sem agregação de valor ao produto. O desperdício pode ter 7 classificações (OHNO, 1997), conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Classificações e definições de desperdícios.

CLASSIFICAÇÃO	DEFINIÇÃO
Desperdício por superprodução	É a produção além das necessidades do próximo processo ou além da realidade momentânea do mercado. Ou seja, é um desperdício que se manifesta de duas formas: i) quantitativa, isto é, fazer mais produtos do

		que realmente é necessário; e ii) antecipada, que é a produção antes da real necessidade (COSTA JÚNIOR, 2008; SHINGO 1996)
Desperdício transporte	por	São movimentações desnecessárias de materiais no chão de fábrica que não agregam valor ao produto (SLACK, 2009)
Desperdício estoque	por	Consiste na produção em excesso de produtos, isto é, maior que o mínimo necessário levando a ocupação de grandes (COSTA JÚNIOR, 2008)
Desperdício por espera		Se constitui na espera por algum tipo de material que acrescenta tempo desnecessário à todo o processo de fabricação (COSTA JÚNIOR, 2008)
Desperdício movimentação	por	São movimentações desnecessárias de operários que não agregam valor ao produto (PAIM et al., 2009)
Desperdício defeitos	por	Consiste quando algum item no processo de produção ou mesmo o produto acabado não atende às características de qualidade exigidas causando resíduos ou retrabalho (COSTA JÚNIOR, 2008)
Desperdício processamento	por	São atividades de processamento que são desnecessárias para que o produto, serviço ou sistema adquira suas características básicas de qualidade (ANTUNES et al., 2008)

Fonte: autoria própria (2017).

Ressalta-se, que o trabalho em pauta, está centrado nos desperdícios por defeitos, constituídos pela geração de blocos crus defeituosos, de blocos crus secos defeituosos e, por fim, de blocos cozidos defeituosos. Na próxima seção será apresentada outro conceito fundante desta dissertação: Produção mais Limpa.

2.2 PRODUÇÃO MAIS LIMPA

A definição clássica de P+L é definida como uma “aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva e integrada a processos, produtos ou serviços, para aumentar a eficiência e reduzir os riscos à saúde humana e ao meio ambiente” (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 1994, p.3). Essa definição — que surge em resposta à mudança de atitude que as organizações industriais têm de demonstrar na atualidade, no sentido de se buscarem práticas produtivas mais sustentáveis — tem sido utilizada para os programas relacionados à promoção da P+L e ainda permanece válida (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2016).

Nesta contemporaneidade, percebe-se que as tecnologias de fim-de-tubo não atendem mais aos anseios da sociedade na busca pela sustentabilidade. Abordagens ambientais convencionais que procuram atender às exigências ambientais legais, além de extremamente onerosas para as empresas do ponto de vista socioeconômico, deixam de ser percebidas como única alternativa para aprimorar o desempenho ambiental. As ações de fim-de-tubo são diferentes das de P+L (Quadro 3). Ou seja, a primeira se dedica à solução do problema sem questioná-lo, enquanto a segunda conta com um estudo direcionado às causas da geração do resíduo e à sua compreensão.

Quadro 3 – Ações de fim-de-tubo versus ações de produção mais limpa.

FIM-DE-TUBO	PRODUÇÃO MAIS LIMPA
Pretende reação	Pretende ação
Os resíduos, os efluentes e as emissões são controlados através de equipamentos de tratamento	Prevenção da geração de resíduos, efluentes e emissões na fonte. Procurar evitar matérias-primas potencialmente tóxicas
Proteção ambiental é um assunto para especialistas competentes	Proteção ambiental é tarefa para todos
A proteção ambiental atua depois do desenvolvimento dos processos e produtos	A proteção ambiental atua como uma parte integrante do design do produto e da engenharia de processo
Os problemas ambientais são resolvidos a partir de um ponto de vista tecnológico	Os problemas ambientais são resolvidos em todos os níveis e em todos os campos
Não tem a preocupação com o uso eficiente de matérias-primas, água e energia	Uso eficiente de matérias-primas, água e energia
Leva a custos adicionais	Ajuda a reduzir custos

Fonte: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (2003a).

Oliveira Filho (2001), afirma que a solução tecnológica do tipo fim-de-tubo segue atrás dos prejuízos ambientais causados por um sistema produtivo, corrigindo os seus efeitos sem combater as causas que os produziram. Em sentido contrário, as técnicas de P+L contemplam mudanças nos produtos e processos produtivos a fim de reduzir ou eliminar todo tipo de rejeitos antes de sua geração.

Quanto as metodologias para implementação da P+L, Maciel e Freitas (2013) assinalam que devido a amplitude e detalhamento, a metodologia da UNEP difundido no Brasil pelo CNTL, tem sido utilizada em vários trabalhos e em distintos setores produtivos ou serviços no Brasil e em outros países do mundo (Quadro 4).

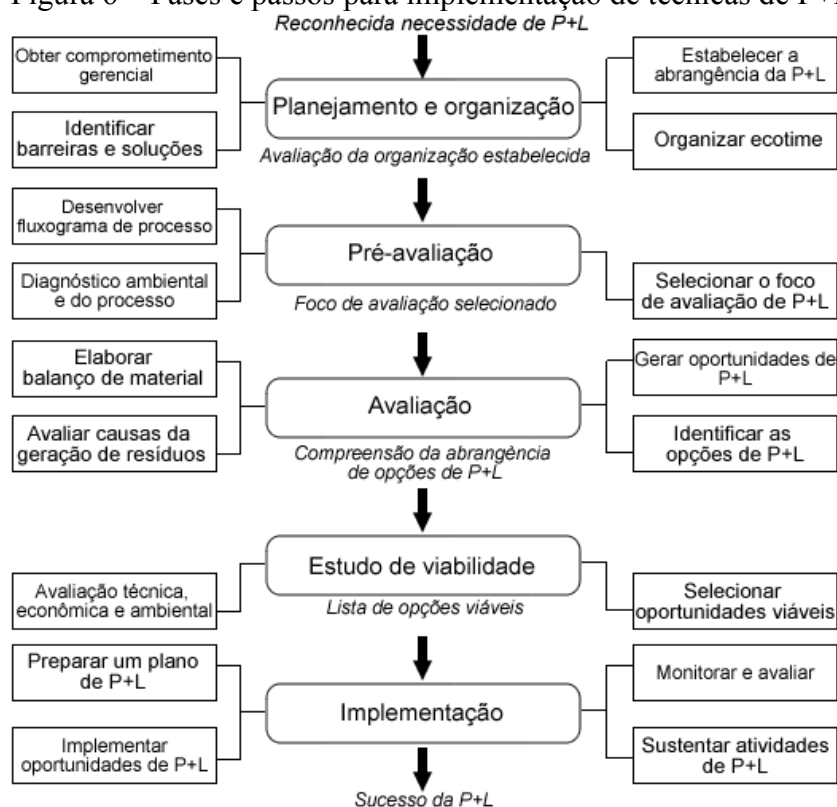
Quadro 4 – Alguns trabalhos desenvolvidos com a metodologia de P+L da UNEP no Brasil e em outros países do mundo.

AUTOR/ANO	PAÍS	SETOR PRODUTIVO OU SERVIÇOS
Gurbuz; Kiran-Ciliz; Yenigun (2004)	Turquia	Produção de azeite
Khuriyati; Kumalasari (2015)	Indonésia	Produção de biscoitos
Kist; Moutaqi; Machado (2009)	Brasil	Matadouro de aves
Maciel; Freitas (2013)	Brasil	Cerâmica vermelha
Massote; Santi (2013)	Brasil	Produção de móveis de madeira
Medeiros et al., (2007)	Brasil	Produção de embalagens de papel
Oliveira; Alves (2007)	Brasil	Processo de usinagem
Pimenta; Gouvinhas (2012)	Brasil	Panificação, indústria têxtil e concessionária de veículos
Rahim; Raman (2015)	Malásia	Produção de suco de fruta
Silva; Medeiros (2006)	Brasil	Consultório odontológico
Van Berkel (1995)	China	Vários setores de produção de alimentos
Van Berkel (2007)	Austrália	Limpeza à seco, refinaria de petróleo, processamento mineral, jardim zoológico e produção de metais (sistemas de água quente por meio de placas fotovoltaicas)

Fonte: adaptado de Maciel e Freitas (2013).

Esta metodologia é composta por 5 fases: planejamento e organização (1), pré-avaliação (2), avaliação (3), implementação (4) e estudo de viabilidade (5), as quais, cada qual, possui alguns passos a serem seguidos (Figura 6).

Figura 6 – Fases e passos para implementação de técnicas de P+L.



Fonte: adaptado de Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (2003a), United Nations Environment Programme (2004) e Van Berkel (1995).

Embora tem se observado a predominância do uso da metodologia e do conceito de P+L da UNEP, muitas têm sido as definições sobre esse termo, gerando ambiguidades e incongruências temáticas. O emprego desse termo pode configurá-lo como um processo, uma estratégia ou uma abordagem. Por exemplo, Hillary e Thorsen (1999, p. 1) afirmam que P+L é “[...] o desenvolvimento de processos e produtos industriais com o objetivo de reduzir os resíduos, minimizando os riscos ao meio ambiente e fazendo uso eficiente dos recursos e matérias-primas”.

Vieira e Amaral (2016), por sua vez, definem a P+L como um processo de melhoria contínua que visa ao uso eficiente dos recursos naturais, buscando evitar os impactos ambientais negativos dos processos, produtos ou serviços, gerando benefícios econômicos e mudança organizacional. Por outro lado, a P+L pode ser compreendida como “[...] uma estratégia

preventiva para minimizar o impacto da produção de produtos ao meio ambiente” (FRESNER, 1998, p.171).

A P+L é uma estratégia de desenvolvimento e implementação de inovações preventivas, maximizando o uso eficiente de matéria-prima, energia e água, minimizando, assim, a geração de resíduos ou materiais nocivos, conforme assinalou Staniskis (2011).

Ademais, ela pode ser considerada como “uma estratégia que gera oportunidades, buscando melhorias no que diz respeito às boas práticas operacionais, às entradas de materiais, aos equipamentos e tecnologia, no *design* de produto e na gestão de saídas de não-produtos” (VAN BERKEL, 2007, p. 743-744).

Por outro lado, outros autores entendem que P+L consiste em uma abordagem sistemática e organizada para as atividades de produção, que busca efeitos positivos sobre o meio ambiente por meio da minimização do uso de recursos, melhoria da ecoeficiência e da redução na fonte, gerando proteção ambiental e redução de riscos aos organismos vivos (GLAVIC; LUKMAN, 2007).

Nesse caso, os autores a classificam como uma abordagem ao invés de uma estratégia, tendo em vista que o segundo termo é semanticamente mais abrangente que o primeiro. As estratégias, no âmbito de termos de sustentabilidade, englobam, por exemplo, os termos ecologia industrial, Prevenção à Poluição (P2) e Sistemas de Gestão Ambiental (SGA). As abordagens, por outro lado, englobam termos menos abrangentes como controle da poluição, P+L, Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e *ecodesign* (GLAVIC; LUKMAN, 2007).

Assim, na ótica de Bass et al. (1990), a P+L é uma abordagem na produção, que exige que as fases do ciclo de vida de um produto ou de um processo devem ser acompanhadas com o objetivo de prevenir ou minimizar os riscos para os seres humanos e o meio ambiente.

Por conseguinte, Silva et al. (2013), definem P+L como uma abordagem integrada e sistêmica que inclui mudanças organizacionais de produção e de processos em busca de uma melhoria contínua.

Portanto, considerando a definição consagrada de P+L da UNEP e o conceito adotado pelo CNTL, pode-se dizer, neste trabalho, que a P+L é a aplicação de uma estratégia técnica, econômica e ambiental integrada aos processos e produtos, com o objetivo de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, por meio da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos e emissões geradas, com benefícios ambientais, de saúde ocupacional e econômicos (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2003a). Sendo assim, a implementação da P+L pode contribuir para o pilar ambiental da sustentabilidade de uma cerâmica vermelha.

Com base nisso, destaca-se que ambiguidades e incongruência também ocorrem no tocante ao uso do termo técnicas de P+L, cujas definições serão discutidas na seção seguinte.

2.3 TÉCNICAS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Técnicas de P+L são um conjunto de meios para atingir os objetivos da P+L (HOWGRAVE-GRAHAM; VAN BERKEL, 2007; KIPERSTOK et al, 2002). Outros termos como princípios (NILSSON et al.,2007), opções (BASS, 1995; FRESNER, 1998; GASI; FERREIRA, 2013; GURBUZ; KIRAN-CILIZ; YENIGUN, 2004; UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2004) e práticas (HOWGRAVE-GRAHAM; VAN BERKEL, 2007; VAN BERKEL, 2007), são geralmente encontrados na literatura e nos manuais de orientações sobre P+L com essa definição. No entanto, neste estudo, o termo “técnicas de P+L” vem sendo adotado porque, semanticamente, é mais apropriado, visto que uma técnica é um conjunto de processos baseado em conhecimentos científicos utilizados para obter certo resultado (TÉCNICA, 2016).

Existem 5 categorias ou classificações de técnicas de P+L, quais sejam: mudanças no produto, boas práticas operacionais, mudanças de matérias-primas ou insumos, mudanças tecnológicas de processo e reúso ou reciclagem interna, isto é, reúso ou reciclagem dentro do processo industrial (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 1994, 2004; NILSSON et al., 2007; VAN BERKEL, 2007).

Por outro lado, pode-se dizer que, além dessas 5 classificações, há mais uma: o reúso ou reciclagem fora do processo industrial (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2003a; DODIC et al., 2010; GASI; FERREIRA, 2013). Isso se justifica porque, em alguns países, como é o caso do Brasil, têm demonstrado potencial para a reciclagem fora do processo industrial, bem como a existência de pessoas que dependem dessa prática (GASI; FERREIRA, 2013). Portanto, nesta dissertação, entende-se, que existem 6 classificações de técnicas de P+L (Quadro 5).

Quadro 5 – Classificações de técnicas de P+L.

CATEGORIA	DEFINIÇÃO
Mudanças no produto	Consiste em mudanças de <i>design</i> ou composição do produto com o objetivo de expandir sua vida útil, facilitar sua reparação e ser menos prejudicial ao meio ambiente durante todo o seu ciclo de vida: desde a extração da matéria-prima até a sua disposição final (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1992; SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2003a)

Boas práticas operacionais	Consiste em mudanças operacionais, de procedimentos, de gestão em uma organização para reduzir os resíduos. Boas práticas operacionais podem frequentemente ser implementadas a baixo custo e em todos os setores da empresa, incluindo operações de produção, manutenção e de armazenagem de matérias-primas e dos produtos (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2003a)
Mudanças de matérias-primas ou insumos	Consiste em mudanças que buscam a eliminação ou a redução de entrada de matéria-prima e insumos perigosos, bem como evitar a entrada de materiais não perigosos, mas que geram resíduos perigosos no processo. Também podem ser mudanças que objetivam o uso de materiais com o tempo de vida útil mais longo (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1992; SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2003a)
Mudanças tecnológicas de processos	Consiste em mudanças tecnológicas de processo ou de equipamentos para reduzir os resíduos na produção. Podem variar desde mudanças menores, implementadas em questão de dias com baixo custo, até a substituição de processos que envolvem grandes custos (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2003a)
Reúso ou reciclagem interna	Consiste no retorno dentro do processo industrial, com ou sem tratamento, de um material residual ou para o processo que o originou ou para outro processo como material de entrada ou outra utilização na própria organização (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2003a; GASI; FERREIRA, 2013)
Reúso ou reciclagem externa	Consiste no uso de um material residual, com ou sem tratamento, para outro processo industrial fora da organização (GASI; FERREIRA, 2013)

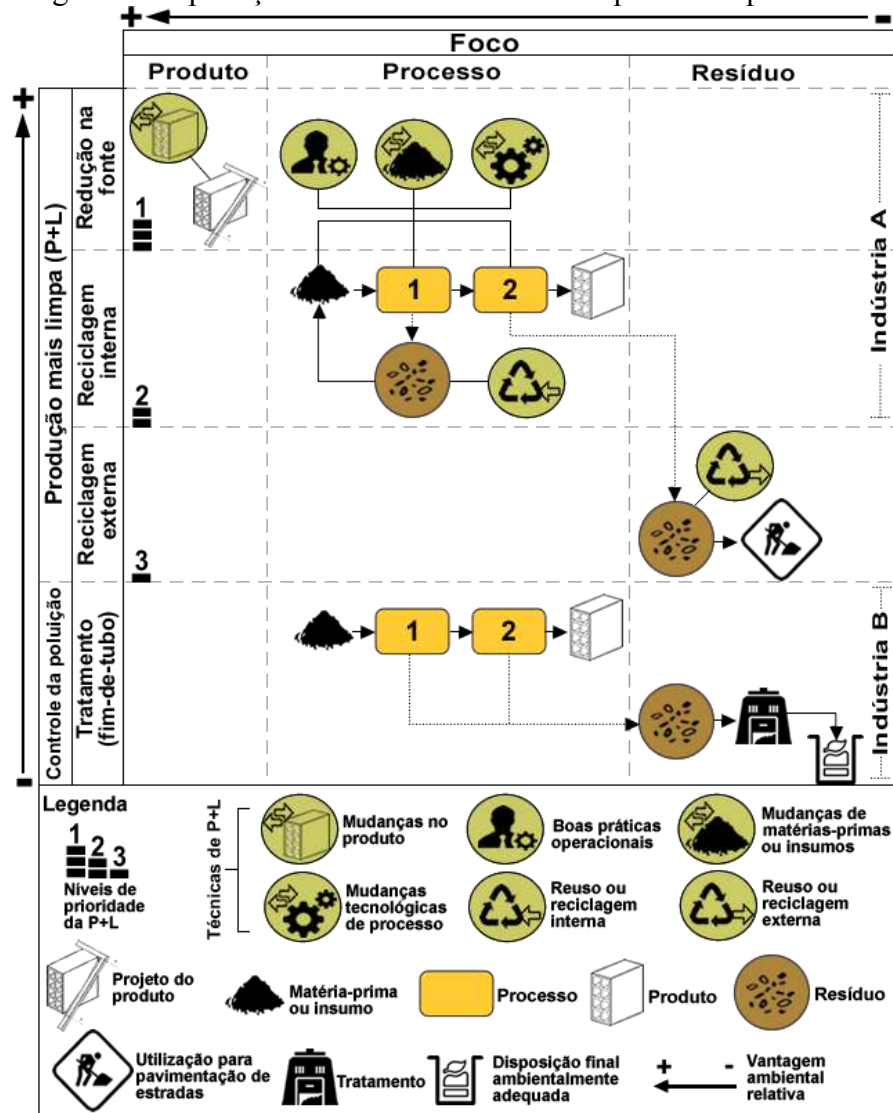
Fonte: autoria própria (2017).

As técnicas de P+L podem ser classificadas também, quanto aos seus meios de ação, em 3 níveis de prioridade. O primeiro se refere à redução na fonte, ou seja, contempla técnicas que visam reduzir os desperdícios na fonte, a saber: mudanças no produto, boas práticas operacionais, mudanças de matérias-primas ou insumos e mudanças tecnológicas de processos. O segundo se refere à reciclagem interna por meio da técnica de reúso ou reciclagem interna. Por fim, quando não é possível adotar técnicas de níveis 1 ou 2, deve-se optar pelo terceiro nível, a reciclagem externa por meio do reúso ou reciclagem externa (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2003a).

Na fabricação de produtos, as técnicas de P+L podem ter 3 focos: foco no produto, no processo ou no resíduo. Para o produto, podem ser adotadas as técnicas de mudanças no produto; para o processo, as técnicas de boas práticas operacionais, de mudanças de matérias-primas ou insumos, de mudanças tecnológicas de processos e de reúso ou reciclagem interna; e para o resíduo, pode ser adotada a técnica de reúso ou reciclagem externa.

Para melhor entendimento sobre a aplicação das técnicas de P+L, seus níveis de prioridades e seus focos, tem-se, na Figura 7, a representação dessas técnicas aplicadas a um determinado processo produtivo, ilustrando a distinção entre as orientações das técnicas de P+L em detrimento do controle da poluição (tratamento de fim-de-tubo).

Figura 7 – Aplicação das técnicas de P+L em processos produtivos.



Fonte: adaptado de Gasi e Ferreira (2013) e de Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (2003a).

A Figura 7 apresenta as principais técnicas de P+L aplicadas na indústria A. Essas técnicas são orientadas para a prevenção de resíduos (sólidos, líquidos e gasosos), priorizando sua redução na fonte desde a concepção do projeto (forma ou *design*) do produto até os processos produtivos. Por outro lado, na indústria B, é aplicado o tratamento de fim-de-tubo ao controle da poluição, orientado a se preocupar, somente, com o tratamento de resíduos gerados nos processos e sua disposição final adequada no meio ambiente. Em suma, a vantagem ambiental relativa será maior à medida em que são adotadas técnicas de P+L voltadas para reduzir os desperdícios na fonte com foco no processo e, sobretudo, com foco no projeto do produto, tendo em vista que esse último pode ser considerado a maneira mais preventiva de evitar ou reduzir desperdícios e resíduos ao longo do ciclo de vida de um produto.

Entende-se, portanto, que a aplicação de P+L, em qualquer organização industrial, a exemplo da indústria de cerâmica vermelha, tem como intuito, sobretudo, buscar a sustentabilidade do processo produtivo, focando-se no uso de técnicas que sigam uma produção mais limpa. Assim, faz-se necessário discutir o termo sustentabilidade na próxima seção.

2.4 SUSTENTABILIDADE

A palavra sustentabilidade, originária do latim *sustentare*, significa sustentar, suportar, conservar em bom estado, manter, resistir. Sendo assim, tudo aquilo que seja capaz de ser suportado ou mantido é considerado sustentável (SICHE et al., 2007). Na atualidade, é crescente o uso do termo sustentabilidade devido ao aumento da consciência sobre a sua importância. Contudo, existem várias definições, abordagens (conforme o campo de aplicação), equívocos e mal-entendidos que rodeiam esse termo (GLAVIC; LUKMAN, 2007; SARTORI; LATRÔNICO; CAMPOS, 2014). Este estudo não entrará no mérito de discutir tais problemas, mas apresentará uma definição para o termo e suas principais características.

O termo sustentabilidade pode ser definido como uma relação dinâmica entre o sistema econômico e o sistema ecológico — que é maior e com taxa de mudanças mais lenta — em que a vida humana pode continuar indefinidamente a se desenvolver culturalmente desde que os efeitos desse desenvolvimento permaneçam dentro de certos limites. Para tanto, deve-se assegurar a diversidade, a complexidade e a função do sistema de suporte de vida ecológico (CONSTANZA, 1994). Em consequência disso, tal definição pressupõe que para ocorrer o desenvolvimento e o bem-estar das presentes e futuras gerações, é fundamental assegurar as condições que suportam a vida no planeta.

As técnicas P+L, já discutidas neste trabalho, podem otimizar o uso de recursos em todos os componentes do sistema de produção e em todo o ciclo de vida do produto, contribuindo para atingir a sustentabilidade de um sistema. Três princípios sustentáveis fundamentais destacam claramente o papel da P+L para a sustentabilidade: a sustentabilidade é obtida por meio da minimização dos desperdícios; a melhoria da qualidade da produção ajuda a aumentar a sustentabilidade; e a sustentabilidade é mais facilmente alcançada implementando melhores sistemas (LINDSEY, 2011).

A sustentabilidade de qualquer sistema, como o da indústria de cerâmica vermelha, pode apresentar características fundamentais. Pode-se dizer que há, pelo menos 7 características principais. A primeira se refere ao seu objetivo fundamental, que é repassar para as gerações futuras um estoque de capital (natural, cultural, manufaturado e cultivado) que seja pelo tão

grande quanto ao que nossa própria geração herdou das gerações anteriores (GAUSSIN, et al., 2011).

A segunda é que a sustentabilidade é multidimensional, ou seja, integra, ao menos, as dimensões econômica, ambiental e social (SARTORI; LATRÔNICO; CAMPOS, 2014). A dimensão econômica é a manutenção de capital natural, uma condição fundamental para não haver decrescimento econômico. A dimensão ambiental é a desmaterialização da atividade econômica, uma vez que a diminuição do processamento de material pode reduzir a pressão sobre os sistemas naturais e ampliar a prestação de serviços ambientais (BARTELMUS, 2003). A dimensão social é a homogeneidade social, rendimentos justos e acesso a bens, serviços e emprego (LEHTONEN, 2004).

A terceira é de que a sustentabilidade é um princípio aplicável a sistemas como os sistemas industriais (transporte, produção, energia), os sistemas sociais (urbanização, mobilidade, comunicação) e os sistemas naturais (solo, atmosfera, sistemas aquáticos e bióticos), incluindo os fluxos de informações, bens, materiais e resíduos. Portanto, a sustentabilidade envolve uma interação com sistemas dinâmicos que estão em constante mudança e necessitam de medidas proativas (SARTORI; LATRÔNICO; CAMPOS, 2014).

A quarta é que a sustentabilidade pode ocorrer em vários níveis territoriais, ou seja, local, regional e global, pois o que pode ser considerado sustentável em nível local não é necessariamente em nível regional, por exemplo (SARTORI; LATRÔNICO; CAMPOS, 2014).

A quinta é a relação de causalidade entre as dimensões, isto é, uma melhoria (ou pioria) no desempenho de uma dimensão pode levar a mudanças em outras dimensões (SARTORI; LATRÔNICO; CAMPOS, 2014).

A sexta é que a sustentabilidade é avaliada por meio de sistemas de indicadores e índices que são distribuídos nas dimensões econômica, ambiental e social, por exemplo (SARTORI; LATRÔNICO; CAMPOS, 2014).

A sétima, por fim, é que a avaliação de sustentabilidade é sempre comparativa e pode ser de duas formas: comparação com outro(s) sistemas ou comparação de um sistema com ele mesmo, também chamado de *per se* (SARANDÓN, 2002).

Por exemplo, a avaliação de sustentabilidade comparativa com outro sistema ocorre quando se pretende avaliar se é mais sustentável a produção de telha cerâmica na empresa X ou a produção de telha cerâmica na empresa Y. O resultado será que a produção de telha cerâmica na empresa X é mais sustentável que a da empresa Y com base em um valor mensurado pelos sistemas de indicadores ou índices escolhidos para realizar tal avaliação num determinado tempo.

Já uma avaliação de sustentabilidade per se, ocorre quando se pretende avaliar se é sustentável a produção de telha cerâmica na empresa X. O resultado será sim ou não, com base em um valor mensurado pelos sistemas de indicadores ou índices escolhidos para realizar tal avaliação em um determinado tempo. Na avaliação per se, o fator tempo é fundamental para estabelecer um ponto de comparação, pois quando se compara um sistema com ele mesmo, a única forma de fazê-lo é pelo tempo (SARANDÓN, 2002).

A propósito, a cerâmica vermelha com suas etapas e processos produtivos, a argila, matéria-prima utilizada nesse segmento industrial e o bloco cerâmico de vedação, produto objeto deste estudo, terão seus conceitos apresentados nas próximas seções.

2.5 CERÂMICA VERMELHA

A palavra cerâmica, originária do grego “*kerameikos*” (feito de terra), pode ser definida tecnicamente como qualquer produto obtido pela mistura, moldagem e queima de matérias-primas minerais, com características e propriedades específicas adequadas à fabricação do produto desejado (LIMAVERDE, 1983). Cerâmica vermelha ou estrutural, é o termo usado para designar produtos caracterizados pela coloração avermelhada ocorrida após o processo de queima, os quais, incluem-se os materiais para construção como, blocos cerâmicos de vedação e estruturais, telhas, manilhas, tabelas e lajotas (LIMAVERDE, 1983).

A indústria de cerâmica vermelha integra o ramo de produtos do setor de transformação de não metálicos, junto com outras indústrias, as quais, boa parte delas, estão ligadas diretamente à cadeia produtiva da construção civil como a indústria do cimento, a da cerâmica de revestimento, a de louças sanitárias e de mesa, a de vidro, a da cal e a de gesso (BRASIL, 2015).

A argila, matéria-prima utilizada na indústria de cerâmica vermelha, pode ser melhor compreendida por meio de sua conceituação e classificação conforme será apresentado a seguir.

2.5.1 Argilas para cerâmica vermelha

De uma maneira geral, a argila é um material natural, terroso, de granulação fina, que adquire, quando umedecido com água, certa plasticidade (SANTOS, 1975).

A Argila, do ponto de vista mineral, constitui-se como um composto de partículas minúsculas de um ou mais membros de um grupo denominado argilominerais, que são silicatos de alumínio hidratados contendo magnésio e ferro substituindo o alumínio total ou

parcialmente, sendo que alguns deles contêm metais alcalinos ou alcalinos terrosos (ABREU, 1973).

A argila tem sido considerada como sendo um “[...] solo de granulação fina constituído por partículas com dimensões menores que 0,002 mm, apresentando coesão e plasticidade.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995, p. 9).

Nesse sentido, entende-se por argila um mineral natural, terroso, de granulometria fina, que quando misturado a água, adquire certa plasticidade, quando seca, endurece e que, quando cozida, enrijece sendo de difícil desagregação por simples pressão de pequena intensidade (OLIVEIRA, 2011).

Por se tratar de um material fino, muitas vezes de mineralogia mista, torna-se difícil a sua identificação e classificação precisas, propiciando uma farta difusão de terminologias. Motta et al. (2004), para classificação e terminologia das argilas, adota a classificação com base na aplicação industrial, quais sejam: argilas de queima avermelhada e argilas caulínicas de queima clara, e com base no contexto geológico, isto é, o local de depósito: argilas quaternárias e argilas de bacias sedimentares.

As argilas de queima avermelhada são denominadas de argilas comuns ou para cerâmica vermelha, sobretudo quando destinadas ao grupo de produtos desse segmento industrial, tendo como principais características a cor de queima avermelhada (MOTTA et al., 2004). Tal propriedade deve-se ao alto conteúdo de óxido de ferro total que encerram, geralmente superior a 4% (FACINCANI, 1992).

No quadro 6, é apresentada a classificação das argilas para cerâmica vermelha, observando o seu setor de aplicação industrial, os contextos geológicos e suas relações com as terminologias existentes. Ou seja, as argilas podem ter terminologias distintas conforme a aplicação industrial e contextos geológicos, conforme pode ser visto no quadro 6.

Quadro 6 – Classificação das argilas para cerâmica vermelha.

APLICAÇÃO INDUSTRIAL	CONTEXTO GEOLÓGICO		TERMINOLOGIAS ¹
	Argilas quaternárias	Várzea	Argila de queima avermelhada que ocorre no fundo dos vales atuais Argilas comuns ou para cerâmica vermelha; argilas caulínicas ou composição mista, vermelhas; argila turfosa; argilas ferruginosas; argilas transportadas ou secundárias; argilas de baixo ou de baixo; argila plástica; argila semi-plástica; argila gorda; argila magra; argila, argila siltica, argila arenosa; tabatinga; torba
			Argila de queima avermelhada que ocorre nas planícies costeiras atuais

Cerâmica vermelha		Planície costeira	Argilas comuns ou para cerâmica vermelha; argilas caulínicas ou de composição mista, vermelhas; argila turfosa; argila de queima vermelha; argilas ferruginosas; argilas transportadas ou secundárias; argilas deltáicas, de estuário; argila mista; argila de baixo ou de baixio; argila plástica; argila semi-plástica; argila gorda; argila magra; argila, argila síltica, argila arenosa
	Argilas de bacias sedimentares		<p>Argila de queima avermelhada que ocorre em bacias sedimentares antigas</p> <p>Taguá (taguá mole, taguá duro); argilas comuns ou para cerâmica vermelha; argilas illíticas; argilas caulínicas; argilas de composição mista; argilas calcíticas; folhelho; argilito; siltito; ritmito; varvito; argilas alcalinas; argilas ferruginosas; argilas fundentes; argilas de alteração ou alteritas; argilas residuais; argilas transportadas ou secundárias; argila coluvial; argilas sedimentares; argilas terciárias, argilas fanerozóicas, argilas gondwânicas; argilas marinhas; lacustre; glacial</p>

¹Terminologias e/ou jargões que podem contemplar as argilas nos diversos grupos, segundo vários critérios de classificação

Fonte: Motta et al. (2004).

As argilas quaternárias (argilas recentes de 1,8 milhões de anos) ocorrem em locais propícios ao acúmulo de argilas detríticas, tais como a várzea, que é o ambiente mais tradicional para acumular argilas nas regiões interiores e na planície costeira, junto às regiões litorâneas. Esses locais são zonas saturadas em água ou sujeitas a inundações periódicas, que exercem influência no comportamento tecnológico do material. As argilas quaternárias são as variedades que apresentam umidade alta e alta plasticidade, propiciando boa trabalhabilidade para os processos cerâmicos de conformação plástica (MOTTA et al., 2004).

As argilas das bacias sedimentares são aquelas relacionadas às formações geológicas antigas — as principais bacias sedimentares brasileiras são das eras paleozóica e mesozóica (540-65 milhões de anos), e secundariamente, terciária (65-2,5 milhões de anos). Essas bacias constituíram grandes áreas deprimidas (bacia de sedimentação) que acumularam sedimentos durante longos períodos, sobretudo em ambientes marinhos, incluindo espessos pacotes argilosos, de mais de uma centena de metros. Uma das principais rochas de interesse cerâmico presentes nas argilas das bacias sedimentares são as de natureza pelítica, que são denominadas, no jargão cerâmico, de taguá. Os taguás portam, principalmente, a illita, mineral rico em óxido de potássio, que confere baixo ponto de sinterização, característica marcante dessas rochas. Além disso, o taguá apresenta alto conteúdo de material ferruginoso, o que propicia cor de queima avermelhada (MOTTA et al., 2004).

As argilas também podem ser classificadas de acordo com a presença de minerais. Nesse contexto, permite-se afirmar que as principais são as argilas caulinitas, as argilas ilitas e as argilas montmorilonitas (FACINCANI, 2002; SANTOS, 1975).

As argilas caulinitas são compostas especialmente pela caulinita, um argilomineral principal componente das argilas, responsável pela elevada resistência mecânica dos produtos cerâmicos. Quando pura, necessitam ser misturadas a outros tipos de argila porque exige elevadas temperaturas para adquirir melhor resistência (SANTOS, 1975).

As argilas ilitas tem como predominância a illita, quer dizer, um mineral de argila do grupo das micas. São argilas muito utilizadas para fabricação de produtos cerâmicos vermelhos, devido a illita ser responsável pela coloração avermelhada. Esse tipo de argila é muito plástica, de fácil moldagem e apresenta bom desempenho de secagem (SANTOS, 1975).

Por sua vez, as argilas montmorilonitas são geralmente usadas em pequenas proporções, por ser muito plástica, podendo ocasionar problemas na moldagem e trincas na secagem e queima. No entanto, a montmorilonita, em pequenas proporções, é benéfica nas argilas para cerâmica vermelha porque favorece a plasticidade, a fusibilidade e a sinterização (SANTOS, 1975).

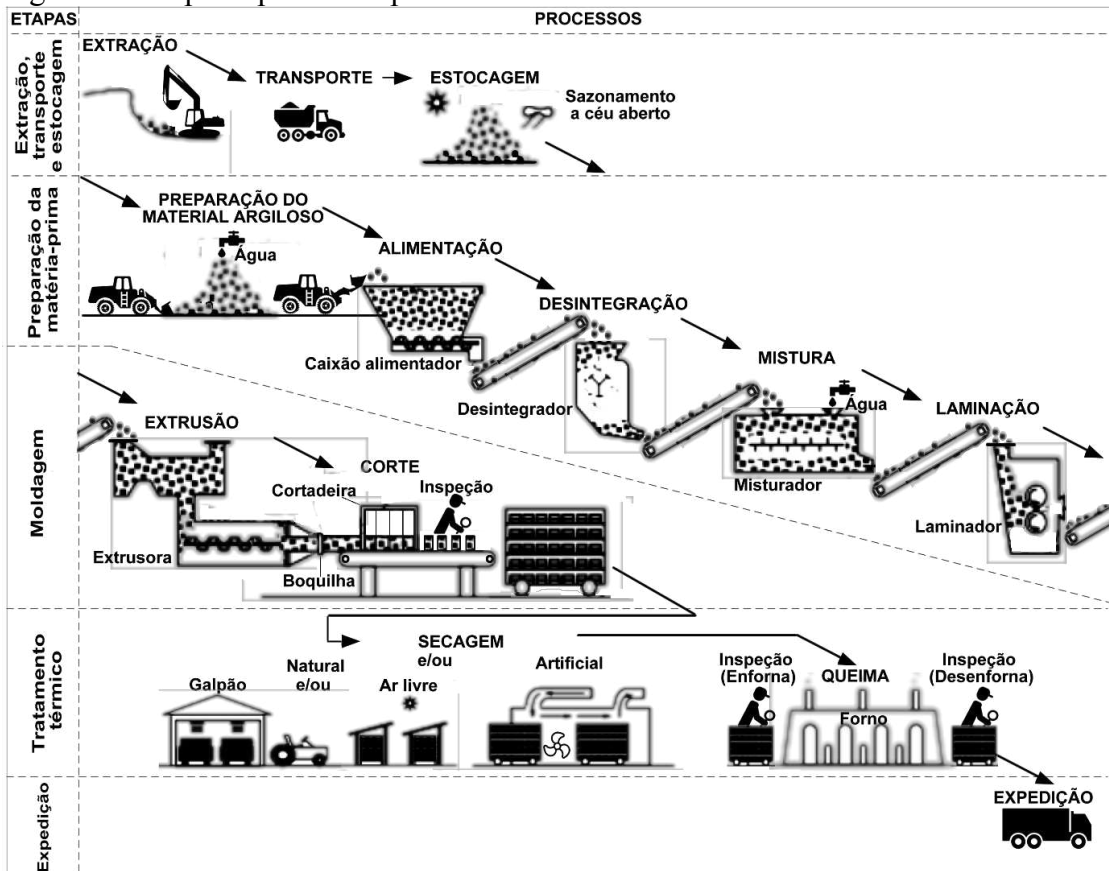
A transformação dessa matéria-prima na indústria de cerâmica vermelha pode ser melhor elucidada por meio da descrição de etapas e processos produtivos deste segmento, conforme será apresentado na próxima seção.

2.5.2 Etapas e processos produtivos da cerâmica vermelha

Após a extração da argila na jazida, e de seu transporte e estocagem na indústria de cerâmica vermelha, pode-se afirmar que três etapas seguintes estão sempre presentes na fabricação de produtos cerâmicos vermelhos, quais sejam: a preparação da matéria-prima, a conformação (ou moldagem) e o tratamento térmico (FACINCANI, 2002).

A figura 8, demonstra, de um modo geral, as etapas e os processos produtivos de uma indústria de cerâmica vermelha e, em seguida, o quadro 2, apresenta as etapas e as descrições dos processos que contemplam a fase de fabricação de produtos cerâmicos vermelhos.

Figura 8 – Etapas e processos produtivos da indústria de cerâmica vermelha.



Fonte: adaptado de Silva et al. (2015); de Limaverde (1983) e de Facincani (2002).

Quadro 7 – Etapas e descrições dos processos de fabricação da cerâmica vermelha.

ETAPA	PROCESSO	DESCRIÇÃO
Preparação da matéria-prima	Preparação do material argiloso	Separação das argilas estocadas e sazoadas, formando-se montes, onde elas serão misturadas entre si com água (FIEMG, 2013)
	Alimentação	Uso de um caixão alimentador para uniformizar o material argiloso e abastecer os processos seguintes da produção (LIMAVERDE, 1983)
	Desintegração	Uso de um desintegrador, que por meio de facas ou dentes, desintegra os blocos ou torrões do material argiloso a um tamanho de 20mm (LIMAVERDE, 1983)
	Mistura	Uso de um misturador para corrigir a umidade do material argiloso misturando o material com água e, por meio de eixos giratórios horizontais dotados de pás ou facas, mistura o material (LIMAVERDE, 1983; OLIVEIRA, 2011)
	Laminação	Uso de um laminador para estirar a massa argilosa, por meio de 2 cilindros que giram em rotações diferentes, formando pedaços laminados de material argiloso (OLIVEIRA, 2011)
Moldagem	Extrusão	Uso de uma extrusora ou maromba a vácuo para retirar o ar do material argiloso e, em seguida, extrusá-lo por meio de um parafuso onde o material é forçado contra um molde ou boquilha, resultando numa coluna de material no formato e dimensões da boquilha escolhida (LIMAVERDE, 1983)
		Uso de cortadeira manual ou automática que, por meio de uma mesa de rolar com um dispositivo com um fino arame de corte, corta a coluna do material argiloso na dimensão desejada resultando em

	Corte	peças cruas. Quando na produção de telhas, após este processo, as peças cruas são encaminhadas para prensagem, responsável pela moldagem no formato côncavo (LIMAVERDE, 1983)
Tratamento térmico	Secagem	A secagem, que é a eliminação de água da peça crua por evaporação com a ajuda do vento e do calor, pode ser natural ou artificial. A natural, é a exposição das peças cruas ao vento e ao calor ambiente, seja ao ar livre ou em galpões. A artificial, é a exposição das peças cruas, dentro de uma estufa, ao vento de ventiladores (estáticos ou autovijantes) e ao calor recuperado do forno. Pode ser estática, quando as peças ficam paradas, e contínua, quando as peças se movimentam à medida em que elas são inseridas úmidas numa extremidade e retiradas secas na outra, onde é mais quente e seco (OLIVEIRA, 2011)
	Queima	A queima é a disposição das peças secas em fornos intermitentes (por exemplo: Paulista e Caipira) ou contínuos (Hoffman e Túnel) a uma certa temperatura (entre 800°C e 1000°C) para adquirirem as propriedades físico-químicas necessárias para o estado final do produto. Os combustíveis que podem ser usados neste processo, por exemplo, são: lenha, pó de serragem, bagaço de cana, casca de arroz e casca de coco (OLIVEIRA, 2011)

Fonte: autoria própria (2017).

Em suma, observa-se que o processo produtivo da cerâmica vermelha possui um consumo relevante de recursos naturais e energéticos. Estima-se que no Brasil aproximadamente 141,6 milhões de toneladas de argila são consumidos por ano e o consumo de energia elétrica tem variado de 25 a 45 kWh por tonelada de argila (BRASIL, 2015; SCHWOB, 2007). Quanto ao consumo anual de biomassa vegetal, este tem sido estimado em 36,6 milhões de m³ (SCHWOB, 2007). Além do elevado consumo de recursos naturais, a geração de resíduos e desperdícios também têm conferido emergência ao debate da sustentabilidade na indústria de cerâmica vermelha (SILVA FILHO, 2014). Tal segmento industrial ainda tem apresentado alguns problemas como a geração de resíduos sólidos e desperdícios de argila, de água, de energia elétrica e de biomassa vegetal, causado por produtos defeituosos como os blocos cerâmicos para vedação ou tijolos. Esse produto, que é o foco deste estudo, será definido na seção a seguir.

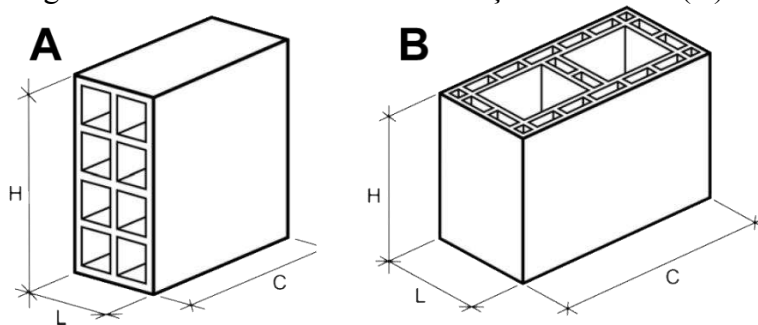
2.5.3 Blocos cerâmicos para vedação

Entende-se por bloco cerâmico ou tijolo (como conhecido popularmente) o produto que tem como principal insumo a argila, que após processo específico de conformação e queima à temperatura adequada, alcança grau de resistência mecânica à compressão, ao desgaste e à umidade. Seu uso é para a construção de paredes de alvenaria que podem ter as funções de

vedação ou estrutural em obras, atendendo as demandas da construção civil tanto residencial, como comercial ou industrial (PARKESIAN; SOARES, 2010).

Os blocos cerâmicos para vedação são componentes da alvenaria de vedação que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm e constituem as alvenarias externas ou internas que não têm a função de resistir a outras cargas verticais, além do peso da alvenaria da qual faz parte (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005). Eles podem ser com furos na horizontal ou com furos na vertical (Figura 9) e apresentar variadas dimensões de largura (L), altura (H) e comprimento (H). O produto objeto de pesquisa nesta dissertação é o bloco de vedação com 8 furos na horizontal, cujas dimensões são de 9cm de largura, 19cm de altura e 19cm de comprimento ou 9x19x19cm.

Figura 9 – Blocos cerâmicos de vedação horizontal (A) e estrutural (B).



Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005).

Após este referencial teórico sobre P+L, na próxima seção, será apresentada a metodologia aplicada neste trabalho.

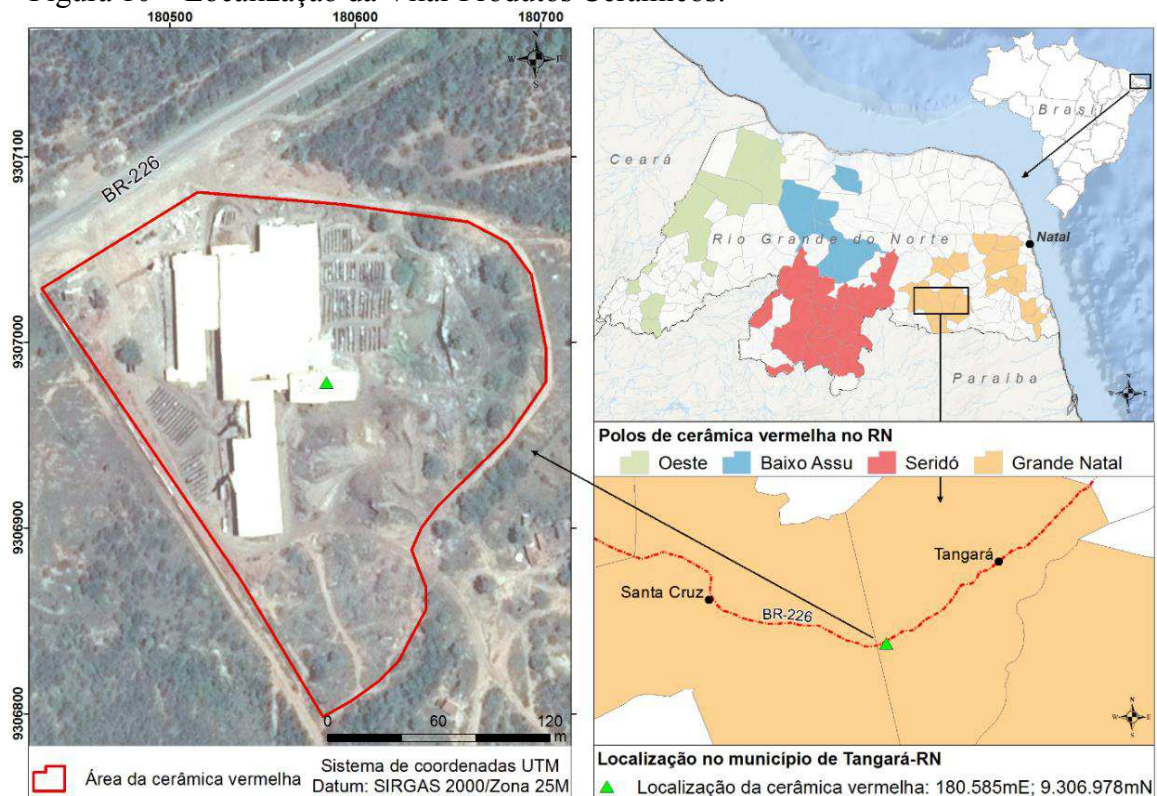
3 METODOLOGIA

Nesta seção é apresentada a estrutura metodológica da investigação, iniciando com a descrição do objeto de estudo e, em seguida, pelos procedimentos metodológicos da pesquisa.

3.1 DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

A empresa objeto deste estudo, a Vilar Produtos Cerâmicos, está localizada no polo cerâmico da Grande Natal, na zona rural do município de Tangará-RN, próximo ao limite do município de Santa Cruz-RN, às margens da BR-226, conforme Figura 10. O ponto central de localização da cerâmica está nas coordenadas 180.585mE (leste-oeste) e 9.306.978mN (norte-sul). Ela possui uma área total com cerca de 4 hectares (40000m²), sendo 4000 m² de área construída. Atualmente, a empresa possui 36 funcionários, sendo 3 na administração e o restante (33) na produção. A jornada de trabalho é de 44 horas semanais, sendo, de segunda à sexta, jornadas de 8 horas por dia (7 horas às 17 horas) e, aos sábados, de 4 horas por dia (7 horas às 11 horas), totalizando 220 horas mensais.

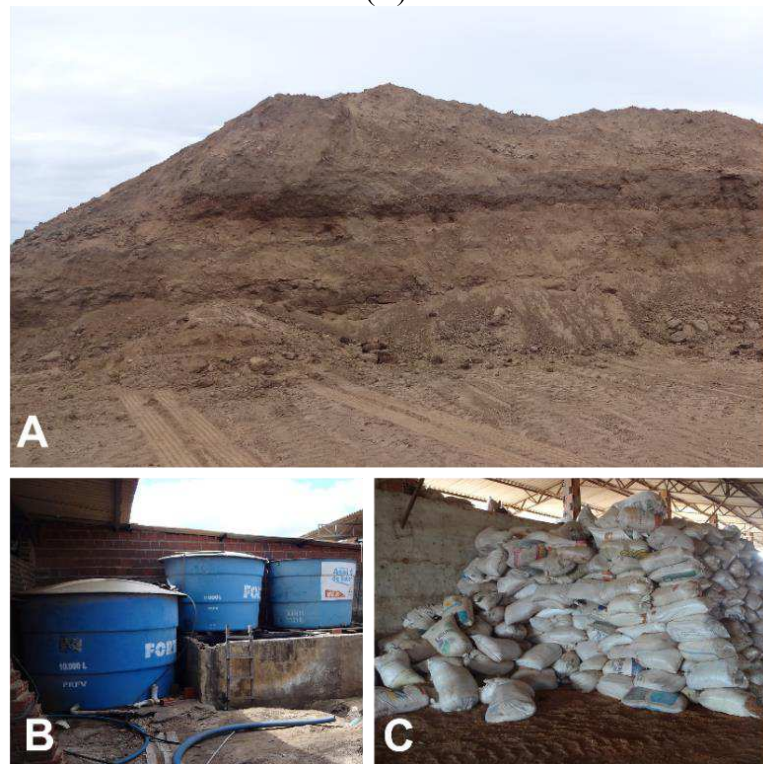
Figura 10 – Localização da Vilar Produtos Cerâmicos.



Fonte: adaptado de Serviço Brasileiro de Apoio às Micros e Pequenas Empresas (2013).

Os principais insumos consumidos no processo produtivo da cerâmica têm sido argila, água, energia elétrica e pó de serragem (Figura 11). São 4 tipos de argilas utilizados no processo produtivo, sendo 2 argilas tipo Massapê (de média plasticidade) 1 argila Magra (baixa plasticidade) e 1 argila Gorda (alta plasticidade). Essas argilas são misturadas com água para preparação do material argiloso que entrará na produção na seguinte proporção: 2:1:1:1, ou seja, duas partes de uma argila Massapê, uma parte da outra Massapê, uma parte de argila Magra e uma de argila Gorda. A água usada é extraída de poço tubular e armazenada em 4 reservatórios: 2 suspensos de 5.000 litros cada um e 2 submersos de 10.000 litros cada um. A energia elétrica usada para as máquinas é fornecida pela Companhia Energética do Rio Grande do Norte (COSERN). O combustível usado no processo de queima é o pó de serragem procedente de várias serrarias da região.

Figura 11 – Argila (A), água nos reservatórios (B) e sacos de pó de serragem (C).

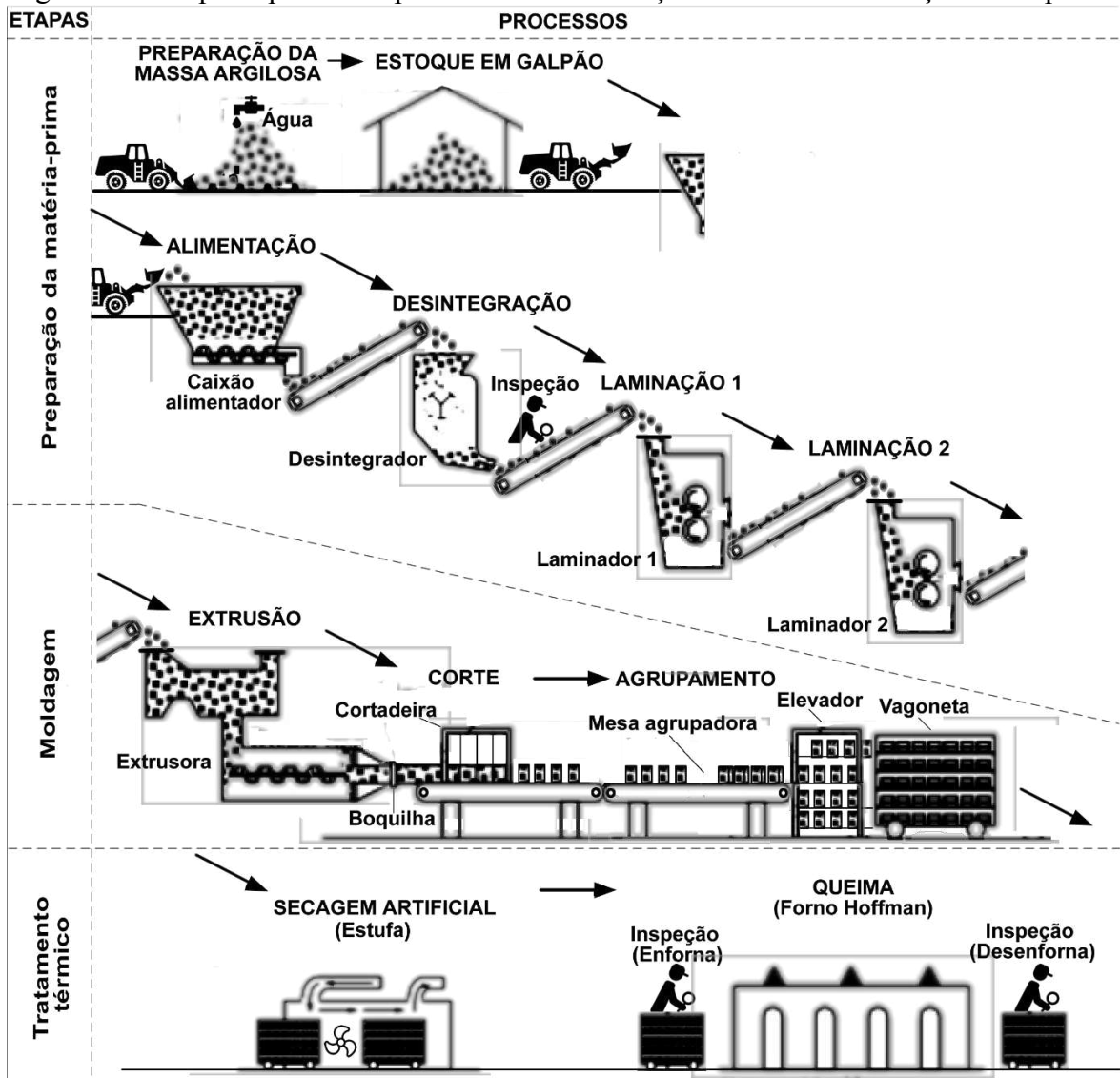


Fonte: autoria própria (2016).

O bloco cerâmico de vedação com dimensões de 9x19x19cm é, atualmente, o principal produto fabricado na empresa com uma produção estimada de 1.100 milheiros mensal, ou 1 milhão e 100 mil unidades produzidas, de acordo com o administrador da empresa. O produto é vendido para cidades circunvizinhas, para algumas cidades da região metropolitana de Natal,

mas também para cidades do estado da Paraíba. Para a fabricação desse produto são realizadas as etapas e processos conforme o fluxograma representado na Figura 12.

Figura 12 – Etapas e processos produtivos na fabricação de blocos de vedação na empresa.

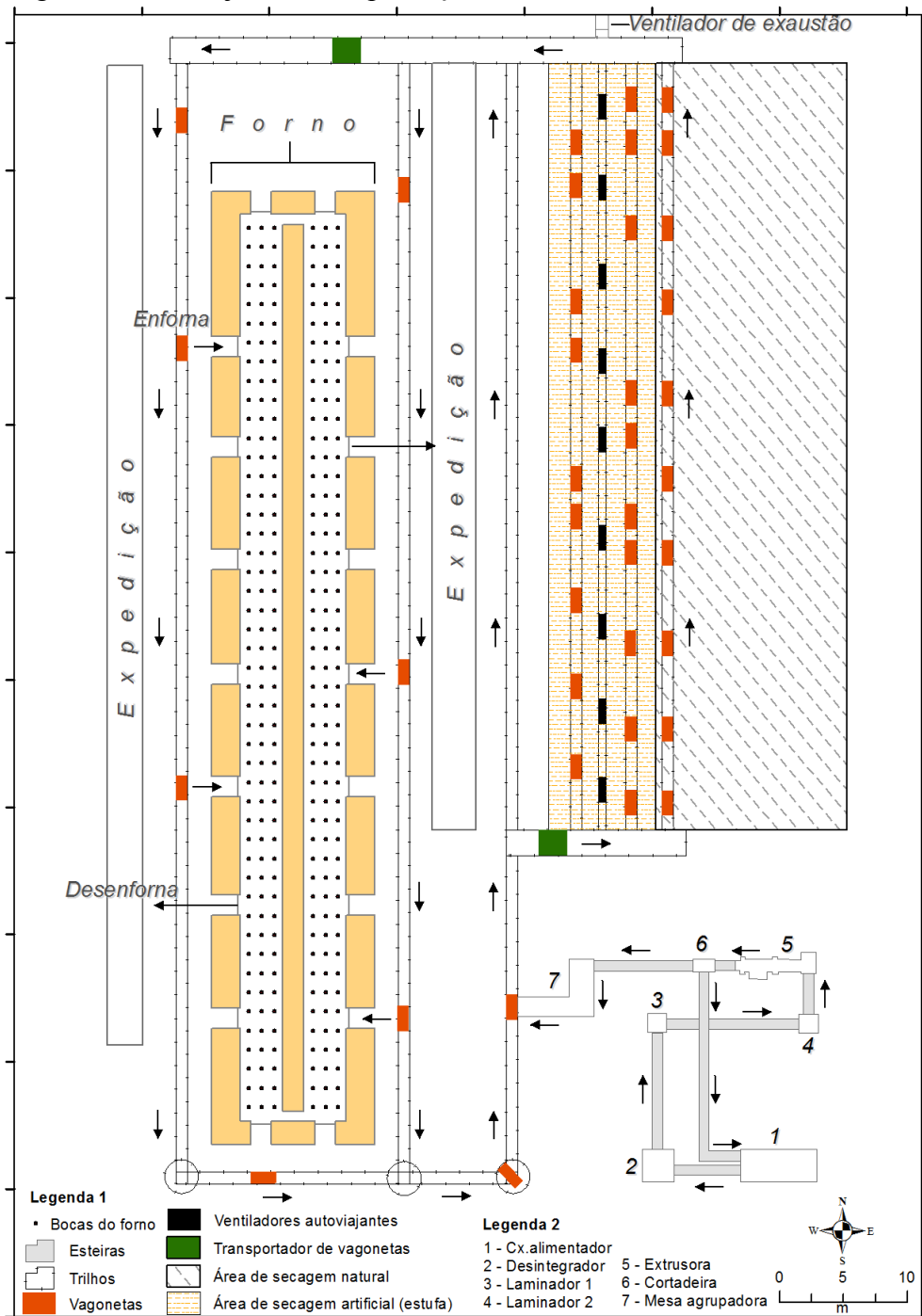


Fonte: autoria própria (2017).

Em comparação com as etapas e processos que são adotados geralmente para fabricação de produtos cerâmicos vermelhos (Figura 8), a empresa investigada, apresenta algumas particularidades, como a presença de inspeção após o processo de desintegração (retirada de impurezas como raízes), a ausência do processo de mistura, a presença de 2 laminadores, a ausência de inspeção após o processo de corte e a presença do processo de agrupamento, no qual uma mesa agrupadora equipada com sensores e esteiras agrupa um conjunto de blocos crus e os encaminham para um elevador que colocam, automaticamente, os blocos em vagonetas. Em seguida, os blocos crus são encaminhados para a secagem artificial. Vale

destacar que esta última vem sendo realizada em uma estufa, onde os blocos crus, dispostos nas vagonetas, são expostos ao ar quente recuperado do forno Hoffman e à ventilação de 10 ventiladores móveis (autovijantes). Depois da secagem os blocos têm sido transportados para o forno (enforna) e, após a queima, o produto é desenformado. Para melhor entendimento desta descrição, a Figura 13, demonstra o arranjo físico da produção, com a disposição física das máquinas citadas e outros presentes na produção.

Figura 13 – Arranjo físico da produção.

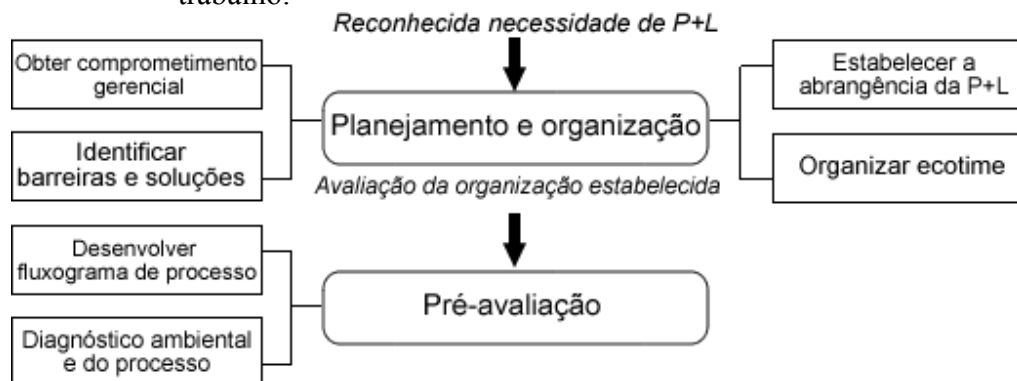


3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Do ponto de vista dos meios este estudo adotou as pesquisas bibliográfica, documental e o estudo de caso junto a empresa Vilar Produtos Cerâmicos, por meio de visitas técnicas efetivadas nos meses de maio e agosto de 2016. A pesquisa bibliográfica teve como intuito levantar artigos científicos em periódicos e anais de congressos, livros, teses, e dissertações sobre os temas aqui expostos. Por sua vez, a documental levantou documentos em sites da internet, como manuais, relatórios, leis e normas. Realizou-se um estudo de caso cuja primeira etapa consistiu em uma investigação empírica na empresa, por meio de um formulário de coleta de dados primários (APÊNDICE C), como nome, localização, quantidade e escala de trabalho dos funcionários e aspectos relacionados ao processo produtivo e aos insumos utilizados. E por fim, efetivou-se um estudo detalhado dos processos produtivos da Vilar Produtos Cerâmicos para diagnosticar os resíduos sólidos e desperdícios de insumos da produção (VERGARA, 2009; YIN, 2005).

O estudo de caso foi realizado com base na metodologia de implementação de técnicas de P+L recomendada pela UNEP (2004) e pelo CNTL (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2003a). Para se adequar aos objetivos propostos neste trabalho e a realidade da empresa estudada, no contexto deste estudo, utilizou-se as fases de planejamento e organização (1) e de pré-avaliação (2) e seus passos, quais sejam: obter comprometimento gerencial, identificar barreiras e soluções, estabelecer a abrangência da P+L, organizar ecotime, desenvolver fluxograma de processo e realizar diagnóstico ambiental e de processo (Figura 14).

Figura 14 – Fases e passos para implementação de técnicas de P+L adotados neste trabalho.



Fonte: adaptado de Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (2003a), United Nations Environment Programme (2004) e Van Berkel (1995).

Para contemplar as fases e passos demonstrados acima, este trabalho adotou as etapas descritas a seguir.

3.2.1 Levantamento de referências nacionais e internacionais sobre Produção mais limpa (P+L), sustentabilidade e cerâmica vermelha visando construir os contributos teórico-práticos da dissertação

Este levantamento teve como objetivo a elaboração do artigo intitulado: “Produção mais limpa: contributos teórico-práticos para a sustentabilidade da cerâmica vermelha” (APÊNDICE A). Nesse sentido, inicialmente, realizou-se pesquisas bibliográficas e documentais levantando e analisando várias obras literárias e de documentos nacionais e internacionais sobre produção mais limpa, sustentabilidade e cerâmica vermelha. Para tanto, foram consultados livros de bibliotecas, manuais e relatórios em sites da internet e em artigos científicos, estes consultados a partir das bases de dados do portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

O levantamento de literatura que apresentou discussões sobre as principais contribuições da produção mais limpa (P+L) para a sustentabilidade da cerâmica vermelha foi realizado pela busca de assuntos no portal de periódicos da CAPES. As palavras-chave utilizadas para dado levantamento foram variadas entre estes termos: produção mais limpa, sustentabilidade, cerâmica vermelha, cerâmica estrutural, lodo de estação de tratamento de água, lodo de gemas, lodo galvânico, rejeito de rocha ornamental, cinza de bagaço de cana-de-açúcar, cinza de carvão mineral, queima rápida, chamote, resíduo de cerâmica vermelha, vidro, telha cerâmica, bloco cerâmico, resíduos, reciclagem, reúso, eficiência energética, argila e massa argilosa.

Após as buscas, selecionaram-se artigos publicados em revistas nacionais e internacionais entre os anos de 2011 e 2016 (até o final do primeiro semestre desse ano, ou seja, até o mês de junho), os quais foram fichados e analisados criticamente conforme os seguintes critérios: pesquisas aplicadas com finalidade, voltadas a resolver problemas concretos propondo soluções (VERGARA, 2009); pesquisas com propostas ou aplicações de técnicas que se alinhavam às definições de técnicas de P+L.

Em seguida, selecionaram-se 23 artigos que atenderam a tais critérios. Depois, identificaram-se as 6 classificações de técnicas de P+L propostas nos artigos, quais sejam: mudanças no produto (MP); boas práticas operacionais (BPO); mudanças de matérias-primas ou insumos (MPPI); mudanças tecnológicas de processo (MTP); reúso ou reciclagem interna

(RRI); e reúso ou reciclagem externa (RRE). Logo após, elaborou-se um gráfico, para representar a distribuição percentual dessas classificações nos artigos. Posteriormente, demonstraram-se, em tabela, os nomes dos autores dos 23 artigos elencados, assim como o ano de publicação, as técnicas de P+L propostas e suas respectivas classificações.

Por fim, os resultados de cada um dos artigos foram apresentados e discutidos conforme as classificações de técnicas de P+L neles contidas. A esse respeito, a discussão pautou-se nas técnicas de P+L propostas, classificando-as de acordo com seu nível de prioridade (redução de desperdícios na fonte, reciclagem interna e reciclagem externa) e seu foco (foco no produto, no processo ou no resíduo). Concomitantemente, problematizaram-se as contribuições dessas técnicas de P+L para a sustentabilidade da cerâmica vermelha.

3.2.2 Sensibilização da gerência da empresa e identificação de barreiras e soluções para realização do diagnóstico, visando definir sua abrangência e organização do ecotime

Nesta etapa este trabalho realizou uma reunião com a gerência da empresa, de modo a obter um comprometimento da gerência para a realização do diagnóstico de resíduos sólidos e desperdícios da cerâmica. Nesse sentido, explicou-se sobre os objetivos do trabalho, os conceitos, as técnicas e os benefícios da P+L, apresentando estudos de casos para sensibilizar a gerência e os funcionários e possibilitar a consecução das demais fases do diagnóstico. Nessa mesma reunião, discutiu-se as barreiras e soluções para consecução do trabalho e identificou-se como barreiras a ausência ou deficiência de registros de dados quantitativos e qualitativos dos processos produtivos, a baixa instrução e a falta de tempo de funcionários para participarem do trabalho. Como solução sugeriu-se a elaboração de planilhas de registros e ficou acordado com a gerência da empresa que os funcionários ajudariam somente na separação e pesagem de resíduos sólidos gerados na produção. Depois, estabeleceu-se a abrangência do diagnóstico, isto é, foi determinado como escopo do trabalho os processos produtivos da cerâmica: da alimentação à queima. Por fim, organizou-se um ecotime, ou seja, um grupo de funcionários da empresa para ajudar na separação e pesagem de resíduos sólidos gerados na produção (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2003a).

3.2.3 Elaboração do fluxograma qualitativo do processo produtivo, almejando visualizar e definir os fluxos da produção

Após a sensibilização da gerência da empresa e identificação de barreiras e soluções para realização do diagnóstico, visando definir sua abrangência e organização do ecotime, deu-se início a elaboração do fluxograma qualitativo do processo produtivo da empresa, almejando visualizar e definir os fluxos da produção. Para tanto foram efetivadas observações simples do processo produtivo e os dados coletados registrou-se em um fluxograma (item 6 do APÊNDICE C). O fluxograma foi elaborado por meio de um diagrama de blocos para visualizar e definir o fluxo qualitativo de entradas de insumos, de saídas de resíduos sólidos e desperdícios e de retroações, isto é, dos resíduos sólidos reutilizados nos processos.

3.2.4 Quantificação de entradas, saídas e retroações (reúso)

Posteriormente, realizou-se um diagnóstico ambiental e do processo produtivo da cerâmica por meio da quantificação de entradas, saídas e retroações (reúso) ao longo da produção. Para isso, primeiramente, levantou-se, por meio de entrevistas informais e observações, algumas informações padrões para o ciclo de produção, quais sejam: umidade da argila (%) no processo de alimentação, massa (kg) do bloco cru extrusado, comprimento (cm) e massa (kg) da rebarba cortada, massa (kg) do bloco seco, massa (kg) do bloco cozido, massa (kg) do saco de pó de serragem (APÊNDICE D) e a quantidade de máquinas, motores e suas potências em w e kWh (APÊNDICE E).

Depois, a partir de uma observação sistemática (GIL, 2008), durante um ciclo de produção, ou seja, o período de tempo em que os processos produtivos levaram para produzir uma certa quantidade de blocos cozidos, levantou-se os dados de entradas saídas da produção (APÊNDICE F). Este período compreendeu 7 dias, sendo 1 dia (8h contínuas) do processo de alimentação até o agrupamento, 3 dias (72h contínuas) para a secagem artificial e 3 dias (72h contínuas) na queima. Para a quantificação de entradas e saídas em um período de curta duração recomenda-se monitoramento mais exato (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2003b). Portanto, acompanhou-se três ciclos de produção na empresa e foi escolhido um ciclo que apresentou uma produção normal, ou seja, com ausência de paradas devido a equipamentos quebrados e manutenções. Os dados coletados foram registrados por meio de fotografias e notas. As notas foram armazenadas em planilhas eletrônicas. Os cálculos para quantificação de entradas, saídas e retroações (reúso) foram realizados por meio de uma

série de fórmulas em planilha eletrônica do *software Microsoft Excel 2013*, as quais serão descritas de forma detalhada nas seções seguintes.

3.2.4.1 Quantificação de entradas

A quantificação do consumo de entradas, escopo desta pesquisa, foram: argila água, energia elétrica e pó de serragem. Para quantificar o consumo total de argila em toneladas (t) foi utilizada a seguinte fórmula (ver Fórmula 1).

$$CTAR = (TPP \times MP) + TR / 1000 \quad (1)$$

Na Fórmula 1, o CTAR significa o Consumo Total de Argila (t) no processo produtivo; TPP é o Total de Produtos Produzidos (blocos de vedação); MP é a Massa (kg) do Produto; TR é o Total de Resíduos sólidos (kg) gerados em todos os processos e; 1000 é o fator de conversão de kg para t. Para quantificar o consumo de água total em litros (l) foi elaborada a seguinte fórmula (ver Fórmula 2).

$$CTA = (MAU - MAS) \times CTAR / MAU \quad (2)$$

Na Fórmula 2, o CTA significa o Consumo de Água Total (l) no processo produtivo; o MAU é uma amostra de 0,1 kg de Material Argiloso Úmido (pesado em balança analítica); o MAS é a amostra de MAU seca, isto é, o Material Argiloso Seco depois de ficar em estufa a 100°C e 24 horas e; o CTAR é o Consumo Total de Argila (kg) no processo produtivo. Para quantificar o consumo de energia elétrica em quilowatt-hora (kWh) por processo foi elaborada a seguinte fórmula (ver Fórmula 3):

$$CEP = \sum CEEM \quad (3)$$

Na Fórmula 3, o CEP significa o Consumo de Energia elétrica (kWh) no Processo; $\sum CEEM$ é a soma do Consumo de Energia Elétrica (kWh) dos motores das máquinas que compõe o processo. Para quantificar o consumo de pó de serragem em toneladas (t) na queima foi elaborada a seguinte fórmula (ver Fórmula 4):

$$\text{CPS} = \text{TSC} \times \text{MS} / 1000 \quad (4)$$

Na Fórmula 4, o CPS significa o Consumo de Pó de Serragem (t); o TSC é o Total (unidades) de Sacos de pó de serragem Consumidos, MS é a Massa (kg) do Saco de pó de serragem e; 1000 é o fator de conversão de kg para t.

3.2.4.2 Quantificação de saídas

A quantificação de saídas, escopo desta pesquisa, foram os resíduos sólidos gerados ao longo do processo produtivo como massa argilosa, rebarbas de blocos crus, blocos crus defeituosos e blocos cozidos defeituosos, os desperdícios de energia elétrica e de pó de serragem, bem como os blocos crus, os blocos crus secos e blocos cozidos em conformidade.

A quantificação da massa (t) dos resíduos sólidos gerados nos processos de alimentação, desintegração, laminação (1 e 2), extrusão, corte e agrupamento foi realizada por meio da pesagem desses resíduos em balança industrial no final do expediente de trabalho. Já os blocos crus secos defeituosos gerados na secagem foram quantificados (t) por meio da seguinte fórmula (ver Fórmula 5):

$$\text{MTB SDS} = \text{TBSD} \times \text{MBSC} / 1000 \quad (5)$$

Na Fórmula 5, o MTB SDS significa a massa (t) Total dos Blocos crus Secos Defeituosos gerados na Secagem; TBSD é o Total (unidade) de Blocos crus Secos Defeituosos, os quais foram identificados e contados no momento da inspeção da enfora; MBSC é a Massa (kg) de um Bloco cru Seco em Conformidade e; 1000 é o fator de conversão de kg para t. Em relação a quantificação da massa (t) dos produtos defeituosos gerados no processo de queima foi realizada a seguinte fórmula (ver Fórmula 6):

$$\text{MTPDQ} = \text{TPD} \times \text{MPC} / 1000 \quad (6)$$

Na Fórmula 6, o PTRQ significa a massa (t) Total dos Produtos Defeituosos gerados na Queima; TPD é o Total (unidades) de Produtos Defeituosos, os quais foram identificados e contados no momento da inspeção da desenfora; o MPC é a massa (kg) do Produto Conforme e; 1000 é o fator de conversão de kg para t. Para quantificar a água residual (l) nas etapas de preparação da matéria-prima e moldagem foi adotada a seguinte fórmula (ver Fórmula 7):

$$\text{ARP} = (\text{MAU} - \text{MAS}) \times \text{MRS GP} / \text{MAU} \quad (7)$$

Na Fórmula 7, o ARP significa a Água Residual (l) gerada no Processo; o MAU é uma amostra de 0,1 kg de Material Argiloso Úmido (pesado em balança analítica); o MAS é a amostra de MAU seca, isto é, o Material Argiloso Seco depois de ficar em estufa a 100°C e 24 horas e; o MRS GP é a massa (kg) do Resíduo Sólido Gerado no Processo. Por sua vez, para quantificar a água residual (l) gerada no processo de secagem foi realizada a seguinte fórmula (ver Fórmula 8):

$$\text{ARS} = (\text{MBCSC} - \text{PPC}) \times \text{MBCSDS} / \text{MBCSC} \quad (8)$$

Na Fórmula 8, o ARS significa a Água Residual (l) presente nos blocos crus secos defeituosos da secagem; o MBCSC é a Massa (kg) do Bloco Cru Seco em Conformidade; o MPC é a massa (kg) do Produto em Conformidade e; o MBCSDS é a massa total (kg) dos Blocos Crus Secos Defeituosos gerados na Secagem.

Para quantificar o desperdício de energia elétrica (kWh) por processo foi realizada a seguinte fórmula (ver Fórmula 9):

$$\text{DEEP} = \text{EECP} / \text{AEP} \times \text{RSGP} \quad (9)$$

Na Fórmula 9, o DEEP significa o Desperdício de Energia Elétrica (kWh); EECP é a Energia Elétrica (kWh) Consumida no Processo; AEP é a Argila (t) que Entrou no Processo e; RSGP é o Resíduo Sólido (t) Gerado no Processo. Por outro lado, para quantificar o desperdício de pó de serragem (t) no processo de queima foi elaborada a seguinte fórmula (ver Fórmula 10):

$$\text{DPS} = (\text{CPS} / \text{TPC}) / \text{TPD} \quad (10)$$

Na Fórmula 10, o DPS significa o Desperdício de Pó de Serragem (t); CPS é o Consumo de Pó de Serragem (t); TPC é o Total de Produtos produzidos em conformidade (milheiro) e; TPD é o Total (milheiro) de Produtos Defeituosos gerados na queima (milheiro). Para quantificar os blocos crus úmidos (milheiro) em conformidade que irão para secagem, foi elaborada a seguinte fórmula (ver Fórmula 11):

$$BCUS = (VSA - F) + (VSN - F) / 1000 \quad (11)$$

Na Fórmula 11, o BCS significa os Blocos Crus Úmidos (milheiro) em conformidade que foram para Secagem; VSA é o número (unidade) de Vagonetas (uma vagoneta tem capacidade total de 560 blocos) que foram para a Secagem Artificial; F é o número (unidade) de Blocos que faltaram para completar a capacidade total da vagoneta; VSN é o número (unidade) de Vagonetas que foram para a Secagem Natural e; 1000 é o fator de conversão de unidade de blocos para milheiro. Para quantificar os blocos crus secos (milheiro) em conformidade que foram para queima foi elaborada a seguinte fórmula (ver Fórmula 12):

$$BCSQ = (BCUS - TBCSD) / 1000 \quad (12)$$

Na Fórmula 12, o BCSQ significa os Blocos Crus Secos (milheiro) em conformidade que foram para a Queima; BCUS é o número de Blocos Crus Úmidos (unidade) em conformidade que foram para Secagem; TBCSD é o Total de Blocos Crus Secos Defeituosos e; 1000 é o fator de conversão de unidade de blocos para milheiro. Por fim, para quantificar os produtos em conformidade (milheiro) no fim do processo produtivo foi elaborada a seguinte fórmula (ver Fórmula 13):

$$TPP = (BCSQ - TPD) / 1000 \quad (13)$$

Na Fórmula 13, o TPP significa o Total (milheiro) de Produtos Produzidos em conformidade; o BCSQ é o número Blocos Crus Secos (milheiro) em conformidade que foram para a Queima; TPD é o Total (unidade) de Produtos Defeituosos gerados na queima e; 1000 é o fator de conversão de unidade de blocos para milheiro.

3.2.4.3 Quantificação de retroações (reúsos)

Para quantificar as retroações, ou seja, os reúsos de resíduos sólidos gerados em processos produtivos da cerâmica, foi considerada a seguinte fórmula (ver Fórmula 14):

$$RR = \sum R \quad (14)$$

Na Fórmula 14, o RR significa a quantidade de resíduos reutilizados; $\sum R$ é a soma dos resíduos gerados nos processos.

Já para quantificar os reúsos de água residual presentes nos resíduos gerados levou-se em consideração a fórmula a seguir (Fórmula 15):

$$RAR = \sum AR \quad (15)$$

Na Fórmula 15, o RAR significa a quantidade (l) de água residual presente nos resíduos reutilizados; $\sum AR$ é a soma da água residual gerada no processo.

Com a quantificação de entradas, saídas e retroações (reúsos) é possível identificar os processos que mais geraram resíduos sólidos e desperdícios de insumos, conforme será apresentado a seguir.

3.2.5 Definição dos processos de maior geração de resíduos sólidos e desperdícios de insumos, aspirando a identificação de oportunidades para minimização dos resíduos

Para a definição dos processos de maior geração de resíduos sólidos foram considerados as maiores quantidades (t) de resíduos sólidos gerados e de porcentagem de desperdícios de insumos dos processos ao longo da produção. Em seguida, definiu-se o percentual de ineficiência de consumo de insumos no processo, adotando-se a seguinte fórmula (Fórmula 16):

$$I\% = (QD / QE) \times 100 \quad (16)$$

Na Fórmula 16, o I% significa o percentual de ineficiência de insumos no processo; QD é a quantidade de desperdício do insumo que entrou no processo; QE é a quantidade do insumo que entrou no processo; e 100 é o fator de conversão da unidade do insumo desperdiçado para porcentagem.

Baseando-se na aplicação dos procedimentos metodológicos é possível que se obtenha a situação real qualitativa e quantitativa dos resíduos sólidos e desperdícios de insumos gerados do processo produtivo da Vilar Produtos Cerâmicos. A partir do que foi descrito na metodologia, os resultados alcançados com a pesquisa serão apresentados e discutidos na próxima seção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para melhor entendimento e demonstração dos resultados e discussão, esta seção se divide em outras seções de modo a apresentar e discutir detalhadamente os resultados atingidos em cada objetivo específico desta dissertação.

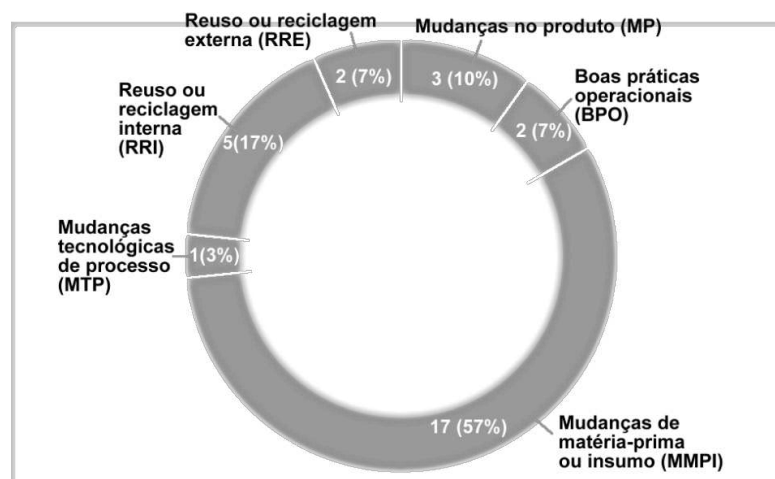
4.1 PRODUÇÃO MAIS LIMPA (P+L), SUSTENTABILIDADE E CERÂMICA VERMELHA: LEVANTAMENTO E CONTRIBUTOS TEÓRICO-PRÁTICOS DA DISSERTAÇÃO

A partir da literatura levantada e analisada, os resultados obtidos demonstram, a priori, que se torna imperioso, nos dias atuais, para as organizações industriais e, em especial, para o ramo industrial da cerâmica vermelha, apropriar-se dos conhecimentos e dos contributos gerados pela aplicação de técnicas de P+L, já que se tem como primordial preocupação ações que promovam a sustentabilidade.

Para este estudo, levantaram-se os artigos que realizaram pesquisas aplicadas sobre contribuições da produção mais limpa (P+L) para a sustentabilidade da cerâmica vermelha nos últimos 5 anos, obtendo-se um total de 23.

Em todos os artigos, constatou-se, conforme o gráfico da Figura 15, que, das 6 classificações de técnicas de P+L, a grande maioria (57%) foi de mudanças de matéria-prima ou insumo (MMPI).

Figura 15 – Gráfico da distribuição de classificações de técnicas de P+L nos artigos.



Fonte: autoria própria (2016).

O restante das classificações de técnicas de P+L ficou distribuído da seguinte forma: 17% para reúso ou reciclagem interna (RRI), 10% para mudanças no produto (MP), 7% para boas práticas operacionais (BPO), 7% para reúso ou reciclagem externa (RRE) e, finalmente, 3% para mudanças tecnológicas de processo (MTP).

No quadro 8, apresentam-se os nomes dos autores, o ano da publicação, a técnica de P+L proposta e suas classificações.

Quadro 8 – Técnicas de produção mais limpa (P+L) e suas classificações propostas nos artigos pesquisados.

	AUTOR	ANO	TÉCNICA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA (P+L) PROPOSTA	CLASSIFICAÇÃO DA TÉCNICA DE P+L*
1	Teixeira et al.	2011	Incorporação de lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) à massa argilosa para fabricação de blocos de vedação	MMPI
2	Tartari et al.	2011	Incorporação de lodo de ETA à massa argilosa	MMPI
3	Teloeken et al.	2011	Incorporação de lodo galvânico, de vidro sodocálcico (de embalagens de bebidas) e de vidro borossilicato (recipientes de laboratório) na massa argilosa	MMPI
4	Pedroti et al.	2011	Fabricação de blocos estruturais prensados e queimados de encaixe (macho e fêmea)	MP
5	Saleiro e Holanda	2012	Processamento de cerâmica vermelha usando ciclo de queima rápida	BPO
6	Bruxel et al.	2012	Incorporação de lodo gerado na serra de corte de gemas (ametista e ágata) na massa argilosa	MMPI
7	Rodrigues et al.	2012	Incorporação de rejeito de rocha ornamental (granito e mármore) isento de granalha, oriundo de tear de fio diamantado, na massa argilosa	MMPI
8	Fernandes et al.	2012	Diminuição da rugosidade da superfície de telha cerâmica com incorporação de chamote à massa argilosa	RRI e MMPI
9	Maciel e Freitas	2013	Análise da qualidade da argila na jazida; reúso de Resíduos de Cerâmica Vermelha (RCV) no próprio processo produtivo; uso de peneiras com menor abertura para evitar a passagem de impurezas na extrusão; manutenção de máquinas e equipamentos como a boquilha; treinamento de mão-de-obra; e reúso do calor do forno para secagem artificial de telhas	BPO, RRI, MMPI
10	Faria e Holanda	2013	Incorporação de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar à massa argilosa	MMPI
11	Taguchi et al.	2014	Incorporação de rejeito de rocha ornamental, oriundo de tear de fio diamantado, à massa argilosa	MMPI
12	Nandi et al.	2014	Incorporação de vidro de lâmpadas fluorescentes descontaminadas à massa argilosa	MMPI
13	Pinheiro, Estevão e Souza	2014	Incorporação de lodo de ETA à massa argilosa	MMPI
14	Wolff, Schwabe e Conceição	2014	Fabricação de blocos estruturais com lodo de ETA de uma indústria de papel e celulose misturado com granito triturado	MP

15	Garcia et al.	2014	Reúso de RCV como material pozolânico na indústria de cimento Portland	RRE
16	Landolfo et al.	2014	Incorporação de RCV como substituto do agregado natural de rocha granítica e calcária na produção de concreto de cimento Portland	RRE
17	Zaccaron et al.	2014	Incorporação de chamote à massa argilosa para fabricação de blocos de vedação	RRI e MMPI
18	Rosso et al.	2014	Reúso de RCV e polímeros recicláveis, como o politereftalato de etileno (PET), o polipropileno (PP) e o poliestireno (PS) para formação de um compósito cerâmico-polímero, a fim de fabricar telhas cerâmicas com a eliminação do processo de queima	RRI, MMPI e MP
19	Zaccaron et al.	2015	Incorporação de resíduo de beneficiamento de carvão mineral à massa argilosa para fabricação de blocos de vedação	MMPI
20	Nandi et al.	2015	Construção de novas fornalhas e portas de visibilidade, bem como o isolamento térmico da zona de queima com mantas térmicas em forno túnel	MTP
21	Mendes, Morales e Reis	2016	Incorporação de resíduos de basalto à massa argilosa	MMPI
22	Carreiro et al.	2016	Incorporação de resíduo de quartzito à massa argilosa	MMPI
23	Oliveira et al.	2016	Reutilização de chamote de telhas à massa argilosa para fabricação de blocos de vedação	RRI e MMPI

*Legenda da classificação de técnicas de P+L: mudanças no produto (MP); boas práticas operacionais (BPO); mudanças de matérias-primas ou insumos (MMPI); mudanças tecnológicas de processo (MTP); reúso ou reciclagem interna (RRI); e reúso ou reciclagem externa (RRE).

Fonte: autoria própria (2016).

Para uma compreensão mais verticalizada dos resultados dos artigos, as próximas seções foram apresentadas e discutidas conforme as classificações de técnicas de P+L neles propostas. Para tal, a discussão pautou-se nas técnicas de P+L propostas, classificando-as de acordo com seu nível de prioridade (redução de desperdícios na fonte, reciclagem interna e reciclagem externa) e seu foco (foco no produto, no processo ou no resíduo). Concomitantemente, discutiram-se as contribuições dessas técnicas de P+L para a sustentabilidade da cerâmica vermelha. Por fim, foram apresentados e discutidos as lacunas e os desafios na busca de contribuições para futuros estudos sobre as temáticas em questão.

4.1.1 Mudanças de matérias-primas ou insumos (MMPI)

Teixeira et al. (2011) assinalam que a incorporação de 10% de lodo de ETA na massa argilosa permite a fabricação de blocos de vedação a temperaturas de queima abaixo de 1000°C e que, acima dessa temperatura, até 20% de lodo de ETA pode ser incorporado à massa, o que permite também a fabricação de telhas em conformidade com as normas técnicas brasileiras desses produtos.

Tartari et al. (2011), por sua vez, apontam que, para blocos estruturais de 6 furos extrusados, 8% é o máximo de lodo de ETA a ser incorporado na massa argilosa para estar em conformidade com a norma técnica desse produto.

Pinheiro, Estevão e Souza (2014) pontuam que, do ponto de vista mineralógico, químico e físico, o lodo de ETA atende às normas técnicas de produtos cerâmicos e que tal resíduo pode ser incorporado às massas argilosas em quantidades moderadas devido ao seu elevado valor de limite plástico.

Teloeken et al. (2011) concluíram que a incorporação de lodo galvânico, de vidro sodocálcico (de embalagens de bebidas) e de vidro borossilicato (recipientes de laboratório) para a fabricação de blocos e telhas cerâmicas obtiveram melhores resultados com as seguintes medidas: 15% de lodo galvânico mais 15% de vidro borossilicato incorporados à massa argilosa. Quanto aos ensaios de lixiviação (para identificar elementos perigosos conforme à sua toxicidade), nenhum dos corpos cerâmicos ultrapassou os limites de Pb, Cd e Cr. Entretanto, as formulações com vidro borossilicato e lodo galvânico apresentaram menores valores de lixiviação somente para o Cr, enquanto as formulações com vidro sodocálcico e lodo galvânico apresentaram os menores valores de lixiviação nos resultados para os elementos Pb e Cd (TELOEKEN, et al., 2011).

Bruxel et al. (2012) investigaram a incorporação de lodo gerado na serra de corte de gemas como ametista e ágata à massa argilosa. Concluíram que até 5% desse lodo pode ser incorporado à massa. Quantidades superiores a esse percentual ficaram fora dos padrões estabelecidos pelas normas técnicas de produtos cerâmicos (BRUXEL et al., 2012).

Rodrigues et al. (2012) avaliaram a incorporação de rejeito de rocha ornamental isento de granalha, oriundo de tear de fio diamantado, à massa argilosa e concluíram que a adição de 10% desse rejeito, sob condições de queima a 900 °C, é o mais indicado para uso em cerâmica vermelha.

Já no estudo de Taguchi et al. (2014), os resultados mostraram que podem ser incorporados 20%, 40% e 60% de rejeito de rocha ornamental à massa argilosa, sob condições de queima a 1000°C, para fabricação de telhas e blocos de cerâmica vermelha estrutural, pois as amostras apresentaram propriedades tecnológicas superiores ao indicado pelas normas técnicas desses produtos. A incorporação de 60% de rocha ornamental é aquela que mais favorece a mitigação de impactos ambientais gerados pelas indústrias de rochas ornamentais, levando em consideração que esse percentual possui uma quantidade maior de resíduo incorporado sem alterar as propriedades tecnológicas de forma significativa (TAGUCHI et al., 2014).

Carreiro et al. (2016), no estudo de incorporação de resíduo de quartzito em uma massa argilosa para a produção de peças de cerâmica vermelha, concluíram que até 15% desse resíduo pode ser incorporado, sob condições de queima a 1000 °C, com melhoria nas propriedades físicas e mecânicas sem alteração de cor. Os resultados também demonstraram que os resíduos e as massas foram classificadas como não perigosos, sendo o resíduo pertencente à Classe II A – não inerte e as massas pertencentes à Classe II B – inerte (CARREIRO et al., 2016).

Nandi et al. (2014), ao estudarem a incorporação de vidro de lâmpadas fluorescentes descontaminadas à massa argilosa, concluíram que formulações com teor de 7 a 12% desse resíduo se mostraram satisfatórias quando comparadas a padrões de normatização técnica de telhas e blocos cerâmicos. Sendo assim, os resultados demonstraram a possibilidade de incorporação de vidro de lâmpadas fluorescentes descontaminadas no processo de fabricação de cerâmica vermelha, atuando como uma alternativa para minimizar o impacto ambiental gerado pelo acúmulo desse resíduo (NANDI et al., 2014).

Faria e Holanda (2013) concluíram que a incorporação de até 10% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar à massa argilosa atende aos padrões das normas técnicas para a fabricação de blocos e telhas de cerâmica vermelha, o que pode contribuir para reduzir os impactos ambientais causados pela indústria da cana.

Mendes, Morales e Reis (2016) incorporaram resíduos de basalto (pó de basalto) à massa argilosa e concluíram que tal resíduo contribui para redução das retrações nos processos de secagem e queima. Além disso, eles destacaram que propriedades tecnológicas, tais como densidade, absorção de água e desempenho mecânico, não são significativamente afetadas pelo uso de pó de basalto como matéria-prima incorporada à massa (MENDES; MORALES; REIS, 2016).

Zaccaron et al. (2015) incorporaram resíduo de beneficiamento de carvão mineral à massa argilosa para fabricação de blocos de vedação e concluíram que a massa argilosa apresentou boa plasticidade de conformação, devido, principalmente, ao tamanho da partícula e ao próprio excesso de matéria orgânica, além de um comportamento térmico satisfatório. Assim, o efeito fundente na massa argilosa, o aumento de plasticidade verificado nas etapas de conformação e o enquadramento das propriedades físicas e mecânicas na norma técnica viabilizam o uso de resíduo de carvão mineral como matéria-prima na fabricação de cerâmica vermelha (ZACCARON et al., 2015).

Nesse contexto, entende-se que as técnicas citadas pelos autores são classificadas como MMPI, pois buscam a reciclagem de resíduos oriundos de outros processos produtivos como matéria-prima para os processos da cerâmica vermelha. Essas técnicas visam à redução de

desperdícios na fonte, o nível mais prioritário da P+L, com foco no processo produtivo da cerâmica vermelha.

A reciclagem desses resíduos ajuda a evitar a sua disposição inadequada no meio ambiente, prevenindo a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, do solo e do ar, tendo em vista que alguns desses resíduos são considerados perigosos, isto é, que oferecem riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Portanto, essas técnicas contribuem para a sustentabilidade da cerâmica vermelha, pois, além de evitarem danos à saúde pública e ao meio ambiente pela disposição inadequada de resíduos, ajudam a reduzir custos de produção e, sobretudo, o uso de argila, aumentando o tempo de vida útil das jazidas desse recurso natural.

4.1.2 Mudanças no produto (MP)

Pedroti et al. (2011) concluíram que a fabricação de blocos estruturais prensados e queimados de encaixe (macho e fêmea) atenderam a parâmetros físicos, químicos e mecânicos para serem utilizados como alternativa em edificações na construção civil. A fabricação desse produto prensado elimina grande parte de desperdícios comparados com o processo de extrusão, pois os blocos prensados possuem baixa umidade, o que elimina o processo de secagem. Nos canteiros de obra, o benefício fica por conta do sistema de encaixe, similar ao tradicional usado em bloco de solo-cimento, e ainda podem ser usados como blocos estruturais (PEDROTI et al., 2011).

Wolff, Schwabe e Conceição (2014) apontaram que o lodo de ETA de uma indústria de papel e celulose misturado com o granito triturado pode ser utilizado como um substituto para a argila, devendo ser testado na indústria de cerâmica vermelha em escala piloto, a fim de avaliar a sua aptidão para a fabricação de revestimentos interiores e blocos estruturais. A reciclagem desses resíduos pode ser tecnicamente e economicamente viável, além de ambientalmente atraente, pois permite uma destinação ambientalmente adequada dos resíduos, além de contribuir para a fabricação de produtos com maior resistência mecânica e de reduzir o uso de recursos naturais, como argila e água (WOLFF; SCHWABE; CONCEIÇÃO, 2014).

Diante disso, pode-se dizer que as técnicas propostas pelos autores são de MP porque buscam trazer mudanças ao projeto (forma ou design) ou à composição do produto, com o objetivo de reduzir os seus impactos ao longo do seu ciclo de vida. Essas técnicas visam à redução de desperdícios na fonte com foco no produto da cerâmica vermelha.

Portanto, a contribuição dessas técnicas para a sustentabilidade da cerâmica vermelha consiste na redução de custos de produção em consequência da redução do uso de água, de

energia, de combustíveis e, principalmente, de argila, ao substituir tal matéria-prima por resíduos ou ao minimizar seu desperdício, o que aumenta o tempo de vida útil das jazidas de dado recurso natural.

4.1.3 Boas práticas operacionais (BPO)

Saleiro e Holanda (2012) comprovaram que o processamento de cerâmica vermelha em ciclos de queima rápida (10 °C/ min e 20 °C/min), entre 700 e 1100 °C, obtém, para telhas e blocos cerâmicos, propriedades tecnológicas e microestrutura comparáveis àquelas convencionalmente obtidas via queima lenta (1°C/ min). O ciclo de queima rápida pode ser viável nos âmbitos econômico e técnico, além de trazer benefícios ambientais como a economia de combustível e de energia (SALEIRO; HOLANDA, 2012).

Por conseguinte, entende-se que tal técnica é uma BPO, uma vez que consiste em trazer mudança operacional no processo de queima para reduzir desperdícios de combustível e de energia. Essa técnica visa, com foco no processo produtivo da cerâmica vermelha, à redução de desperdícios na fonte.

Logo, essa técnica contribui para a sustentabilidade da cerâmica vermelha, à medida em que reduz o uso de combustível e energia no processo de queima, acarretando na redução do uso de recursos naturais (como a cobertura vegetal que fornece a lenha) e de custos de produção.

4.1.4 Boas práticas operacionais (BPO), reúso ou reciclagem interna (RRI) e mudanças de matérias-primas ou insumos (MMPI)

Maciel e Freitas (2013) constataram que os processos de queima, de estocagem de produto acabado e de expedição são os que geram o maior volume de RCV não reciclados ou retrabalhados (telhas e blocos quebrados ou defeituosos) na cerâmica vermelha investigada por esses autores. As causas desses problemas decorrem da ausência de técnicas de P+L nos processos produtivos. Sendo assim, uma série de técnicas de P+L podem ser propostas, como: análise da qualidade da argila na jazida (BPO); reúso ou reciclagem de RCV, como o chamote, no próprio processo produtivo (RRI e MMPI); uso de peneiras com menor abertura para evitar a passagem de impurezas no processo de extrusão (BPO); manutenção preventiva das máquinas (BPO); treinamento para os funcionários (BPO) e aproveitamento do calor do forno para secagem artificial de telhas – RRI (MACIEL; FREITAS, 2013).

Diante disso, classificam-se as técnicas propostas pelos autores como BPO, RRI e MMPI, tendo em vista que buscam trazer mudanças operacionais, treinamento para os funcionários, reúso ou reciclagem de resíduos e calor para serem reintroduzidos no processo produtivo. Essas técnicas visam à redução de desperdícios na fonte e a reciclagem interna. Ambas têm o foco no processo produtivo da cerâmica vermelha.

Portanto, essas técnicas contribuem para a sustentabilidade da cerâmica vermelha porque, além de ajudarem a reduzir a disposição inadequada de resíduos no meio ambiente, reduzem o uso de argila, aumentando o tempo de vida útil das jazidas desse recurso natural, de insumos energéticos e os custos de produção.

4.1.5 Mudanças tecnológicas de processo (MTP)

Nandi et al. (2015) constataram que o desperdício de energia térmica nas paredes, tetos, fornalhas e portas de visibilidade de um forno túnel podem gerar custos estimados de R\$ 250.000,00/ano para a cerâmica vermelha investigada. Diante disso, foram propostas a construção de novas fornalhas e portas de visibilidade, bem como o isolamento térmico da zona de queima com mantas térmicas como alternativas economicamente e ambientalmente viáveis, devido à redução de custo com a economia de combustível (NANDI et al., 2015).

Nesse contexto, compreende-se que as técnicas propostas pelos autores são de MTP, haja vista que buscam implantar equipamentos para reduzir o desperdício de energia térmica. Essas técnicas visam à redução de desperdícios na fonte com foco no processo produtivo da cerâmica vermelha.

Sendo assim, a contribuição dessa técnica para a sustentabilidade da cerâmica vermelha consiste no uso de forma eficiente do insumo energético, o que ajuda na redução do uso de recurso natural (como a cobertura vegetal que fornece a lenha) e de custos de produção.

4.1.6 Reúso ou reciclagem interna (RRI) e mudanças de matérias-primas ou insumos (MMPI)

Fernandes et al. (2012) demonstraram que incorporação de 12% de chamote à massa argilosa ajuda a diminuir a rugosidade superficial de telhas sem alterar o processo de fabricação. Zaccaron et al. (2014), por sua vez, constataram a viabilidade da utilização de até 20% de chamote incorporado à massa argilosa no processo cerâmico. Além disso, verificaram, por meio

de análises de lixiviação e de solubilização de resíduos, que o chamote foi classificado como resíduo não perigoso e não inerte, ou seja, um resíduo classe II A.

Já Oliveira et al. (2016) reutilizaram chamote de telhas na massa argilosa para fabricação de blocos de vedação e os resultados apontaram que a formulação com 5% de teor de chamote incorporado à massa obteve os melhores resultados, sob condições de queima a 1000 °C. O estudo demonstrou que a incorporação do chamote à massa argilosa é viável, sendo que, em alguns casos, melhorou as propriedades tecnológicas do produto final. Portanto, o chamote pode ser uma alternativa para a cerâmica vermelha e uma solução para minimizar os impactos ambientais gerados pelo descarte dos resíduos da própria indústria de cerâmica vermelha [69].

Desse modo, tal incorporação de chamote à massa argilosa, proposta pelos autores, é uma técnica de RRI e também de MMPI. Essas técnicas visam à redução de desperdícios na fonte e a reciclagem interna, ambas, com foco no processo produtivo da cerâmica vermelha.

As técnicas propostas buscam, por meio de reciclagem, o retorno de RCV para o próprio processo produtivo cerâmico como um insumo incorporado à massa argilosa. Logo, contribuem para a sustentabilidade da cerâmica vermelha porque, além de reduzir os custos de produção, evitam a disposição inadequada de resíduos no meio ambiente e auxiliam a reduzir o uso de argila, aumentando o tempo de vida útil das jazidas desse recurso natural.

4.1.7 Reúso ou reciclagem interna (RRI), mudanças de matérias-primas ou insumos (MMPI) e mudanças no produto (MP)

Rosso et al. (2014) concluíram que o reúso de RCV e polímeros recicláveis, como o politereftalato de etileno (PET), o polipropileno (PP) e o poliestireno (PS), para formação de um compósito cerâmico-polímero, a fim de fabricar telhas cerâmicas com a eliminação do processo de queima, podem fabricar um compósito de alta resistência mecânica à flexão, e baixa absorção de água, que chega a ser três vezes mais resistente quando comparado com telhas comerciais. Diante disso, há a possibilidade de fabricar telhas cerâmicas com espessuras menores, área de cobertura e leveza maiores que as convencionais, obtendo-se redução no custo de frete e de estrutura para cobertura. Além dessas características técnicas, outro ponto relevante é a questão ecológica: as formulações foram feitas com RCV e polímeros recicláveis, bem como com a eliminação da etapa de queima que proporciona uma redução no consumo de combustíveis e, conseqüentemente, da poluição atmosférica gerada pelos gases liberados na queima (ROSSO et al., 2014).

Portanto, essa técnica utilizada pelos autores pode ser classificada como de RRI, MMPI e MP, uma vez que se busca o reúso de RCV, oriundos do próprio processo cerâmico, e a reciclagem de polímeros como o PET, o PP e o PS, oriundos de outros processos produtivos, com o propósito de formar um compósito cerâmico-polímero para fabricar telha cerâmica. Essa técnica visa à redução de desperdícios na fonte e à reciclagem interna, tendo como foco o produto e o processo produtivo da cerâmica vermelha.

Trata-se, assim, de um novo produto, cujos design e composição são modificados para reduzir os impactos ao longo do seu ciclo de vida. Logo, essa técnica contribui para a sustentabilidade da indústria de cerâmica vermelha porque, além de reduzir custos de produção, evita a disposição inadequada de resíduos no meio ambiente, ajuda, sobretudo, a conservar a argila, aumentando o tempo de vida útil das jazidas desse recurso natural, e reduz o consumo de combustíveis, bem como a emissão de gases para a atmosfera, já que elimina o processo de queima.

4.1.8 Reúso ou reciclagem externa (RRE)

Garcia et al. (2014) verificaram que o reúso de RCV é adequado para a utilização como aditivo pozolânico em cimento *Portland*. Utilizando o ensaio *Chapelle*, os autores verificaram que a média dos valores de reatividade de quatro amostras de RVC ficou em 612mg de Ca(OH)_2 /grama, ultrapassando em 40% o valor mínimo aconselhado. Por isso, os resíduos cerâmicos passaram a ter um elevado potencial de serem reaproveitados como adição mineral em cimentos e concretos, uma vez que a composição química desses materiais se mostrou compatível com os valores requeridos por normas técnicas (GARCIA et al., 2014).

Por sua vez, Landolfo et al. (2014) concluíram que o RCV, especificamente a fração graúda, pode ser um substituto do agregado natural de rocha granítica e calcária na produção de concreto de cimento Portland, levando em consideração os resultados mecânicos obtidos na pesquisa. Todavia, foi recomendado, para estudos futuros, que se faça uma análise das propriedades físicas (absorção e porosidade) de tal resíduo para que se possa estimar a quantidade necessária de água para o amassamento (2014).

Tais técnicas propostas pelos autores podem ser classificadas como RRE porque buscam dar uma destinação final ambientalmente adequada aos RCV com o objetivo de transformá-los em insumos para outras indústrias. Essas técnicas visam à reciclagem, o nível menos prioritário da P+L, com foco no resíduo da cerâmica vermelha.

Portanto, elas contribuem para a sustentabilidade da indústria de cerâmica vermelha, uma vez que evitam a disposição inadequada de resíduos no meio ambiente e ainda podem gerar receita com a venda desses resíduos para outras indústrias.

4.1.9 Lacunas e desafios

Após a análise dos resultados dos artigos, buscou-se desvendar lacunas e desafios na busca por contribuições para futuros estudos sobre P+L aplicada na indústria de cerâmica vermelha. Nesse sentido, a primeira lacuna que pode ser destacada é em relação à escassez do uso de metodologias para aplicação de um programa de P+L. Apenas um artigo (MACIEL; FREITAS, 2013) mencionou um guia de implementação da metodologia de P+L proposta pelo Centro Nacional de Tecnologias Limpas do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial do Rio Grande do Sul (SENAI, 2003a). Importante ressaltar que os CNTL foram criados em 1995, em 8 países, pelo PNUMA (em inglês UNEP). Atualmente, há 58 centros funcionando em 56 países, inclusive no Brasil, cuja sede se localiza no SENAI (LUKEN et al., 2016). Esses centros servem como um mecanismo para prestar serviços de P+L para empresas, governos e outras organizações, por meio de treinamentos e consultorias, de modo a encontrar as melhores soluções para problemas específicos com enfoque ambiental preventivo e viés econômico (LUKEN; NAVRATIL, 2004; VAN BERKEL, 2010).

Além do CNTL, há também a Rede Brasileira de Produção Mais Limpa, criada em 1999 com o intuito de promover o desenvolvimento sustentável nas micro e pequenas empresas do país. Na atualidade, a rede é formada por sete núcleos estaduais (MG, BA, SC, MT, RJ, CE e PE) e onze núcleos regionais do SEBRAE (DF, AM, AP, MS, PA, ES, AL, RJ, RN, PI e SE) e também conta com a parceria do PNUMA. Essa rede já implementou a P+L em mais de 300 empresas, proporcionando melhorias no desempenho ambiental e ganhos econômicos (PIMENTA; GOUVINHAS, 2013).

A segunda lacuna encontrada nos artigos diz respeito à ausência de implementação contínua de técnicas de P+L no processo produtivo cerâmico. Todos os artigos apontaram propostas de técnicas de P+L baseadas, principalmente, em experimentos. Contudo, não houve a implementação, de modo contínuo, dessas técnicas. Isso é um reflexo da primeira lacuna, a escassez de uso de metodologias para aplicação de um programa de P+L.

A terceira e última lacuna é acerca da insuficiência de técnicas de P+L que auxiliem a evitar a emissão de material particulado fino ou respirável, isto é, que possui diâmetro aerodinâmico igual ou menor a 2,5 µm (micrometro), liberado durante a queima de madeira na

fabricação de produtos cerâmicos. Mortes prematuras, doenças mutagênicas e problemas respiratórios têm sido associados à exposição ao material particulado fino, pois é essa a fração que penetra no trato respiratório humano (nível alveolar), onde os mecanismos de expulsão desses poluentes não são eficientes (MICHELOZZI et al., 1998; DELFINO; SIOUTAS; MAILIK, 2005). Esse tem se constituído como o principal contribuinte para o impacto sobre a saúde humana na produção de cerâmica vermelha (SOUZA et al., 2015).

Ressalta-se que têm sido propostas, para reduzir a emissão de material particulado fino, o uso de técnicas de fim-de-tudo, quais sejam, lavadores de gases, filtros manga, ciclones e precipitadores eletrostáticos (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA, 2015). Em oposição a tais técnicas, o que pode ser sugerido são técnicas de P+L que eliminem o processo de queima, conforme já foi exposto no artigo de Rosso et al. [64]. Outra técnica de P+L que pode ser indicada para prevenir a emissão de material particulado fino é o uso de Gás Natural (GN). O GN é o combustível fóssil com menor emissão do principal gás de efeito estufa, o dióxido de carbono (CO_2), que gera em torno de 15,3 tC/TJ, tonelada de carbono por terajoule (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2006), cerca de 20 a 23% menos CO_2 do que o óleo combustível. Além disso, o GN, em equipamentos adaptados e adequados para sua queima, não emite óxido de enxofre (SO), fuligem e materiais particulados, enquanto as emissões de monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NO_x) poderiam ser relativamente bem controladas (BRASIL, 2006).

Diante disso, pode-se dizer que o uso de metodologias para a aplicação de programas de P+L, a implementação contínua de técnicas de P+L e as técnicas de P+L que ajudem a evitar a emissão de material particulado fino (MP 2,5) são os desafios para futuros estudos sobre a P+L aplicada na indústria de cerâmica vermelha.

4.2 DIAGNÓSTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS E DESPERDÍCIOS DA CERÂMICA VERMELHA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE TÉCNICAS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA

A partir do estudo do processo produtivo e da identificação dos resíduos sólidos e desperdícios gerados ao longo da produção de blocos cerâmicos da Vilar Produtos Cerâmicos, aplicando a metodologia de implementação de técnicas de P+L do CNTL do SENAI apresenta-se os resultados e realiza-se uma ampla discussão, considerando os fundamentos teóricos adotados. O diagnóstico, iniciou-se com uma entrevista informal com o administrador da

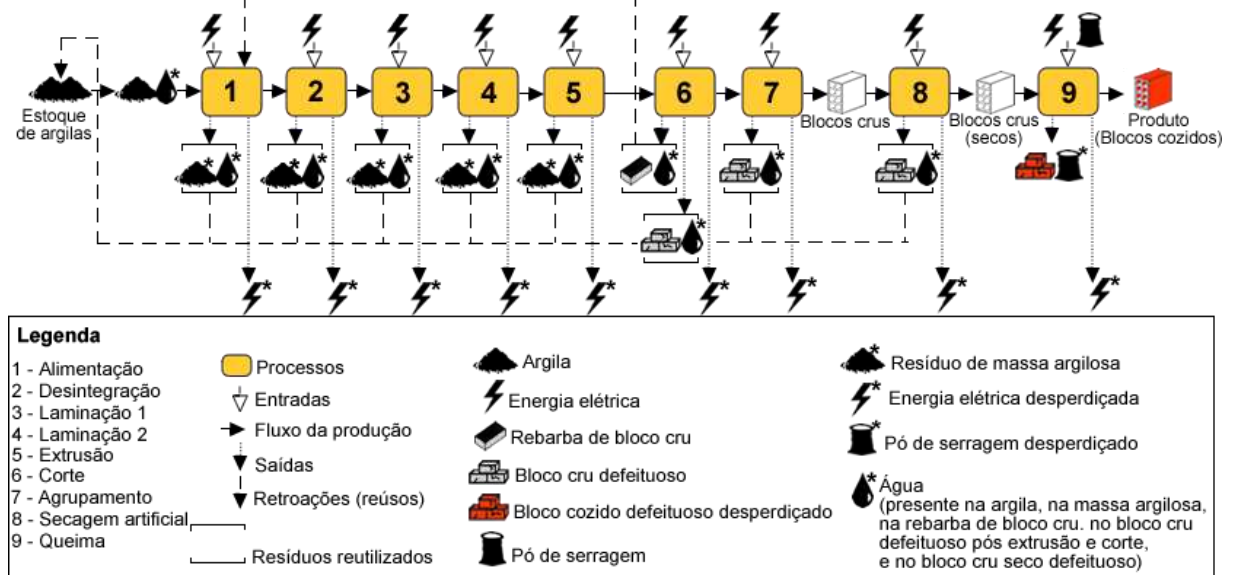
empresa, visando levantar dados sobre a empresa, como nome, localização, quantidade e escala de trabalho dos funcionários e aspectos relacionados ao processo produtivo e aos insumos utilizados (APÊNDICE C).

Isto posto, pode-se dizer que a cerâmica apresenta um bom nível de desenvolvimento tecnológico, tendo em vista que em todos os processos há utilização de máquinas que contribuem para a automação ao longo da produção. No tocante à questão ambiental, observa-se que a empresa adota uma abordagem reativa, isto é, preocupa-se em reagir, principalmente, para atender aos requisitos ambientais legais aplicados aos seus negócios por meio de alvará de funcionamento da prefeitura, habite-se do corpo de bombeiros e de licenças ambientais, como a Licença de Operação (LO) emitida pelo órgão ambiental estadual, o Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (IDEMA). A respeito da questão da qualidade de seus produtos, ressalta-se que a cerâmica tem sido proativa, ou seja, com iniciativa, uma vez que aderida ao PSQ, a indústria combate à não conformidade de seus produtos, contribuindo para atender todas as dimensões definidas como padrão do setor. Após essa apresentação da situação geral da empresa, demonstra-se, logo em seguida, o fluxograma qualitativo do processo produtivo da Vila Produtos Cerâmicos.

4.2.1 Elaboração do fluxograma qualitativo do processo produtivo

O processo produtivo da cerâmica investigada inicia-se com o estoque de argilas a céu aberto, depois as matérias-primas seguem para serem misturadas entre si com adição de água formando uma massa argilosa. Essa massa entra na alimentação e é distribuída para os demais processos da indústria, conforme visualizado no fluxograma qualitativo do processo produtivo (Figura 16).

Figura 16 – Fluxograma qualitativo do processo produtivo da cerâmica vermelha.



Fonte: autoria própria (2017).

Sendo assim, observou-se entradas de argila e água no processo de alimentação (1), de energia elétrica em todos os processos (1 a 9) e de pó de serragem somente na queima (9). Em relação as saídas constatou-se a geração de massa argilosa (resíduo que cai das esteiras entre os processos de alimentação a extrusão) e água residual da alimentação a extrusão (1 a 5), de rebarbas de blocos crus e água residual no corte (6), de blocos crus defeituosos e água residual do corte ao agrupamento (6 e 7), de blocos crus secos e água residual na secagem (8), de blocos cozidos defeituosos e pó de serragem desperdiçado na queima (9), de energia elétrica desperdiçada em todos os processos (1 a 9), de blocos crus em conformidade no agrupamento (7), de blocos crus secos em conformidade na secagem artificial (8), e por fim, de blocos cozidos em conformidade após a queima (9). Sobre as retroações, verificou-se reúsos de resíduos sólidos para o estoque de argilas e para o processo de alimentação (1). No estoque de argilas, foram reutilizados resíduos gerados entre os processos de alimentação a secagem artificial (1 a 8), e no processo de alimentação (1) foram reutilizados rebarbas de blocos crus gerado do corte (6).

Após a visualização e conhecimento do fluxograma do processo produtivo da cerâmica vermelha, partiu-se para a quantificação de entradas, saídas e retroações (reúsos) da produção, conforme será demonstrado nas próximas seções.

4.2.2 Quantificação de entradas, saídas e retroações (reúso)

Em relação a quantificação de entradas, saídas e retroações (reúso), primeiro, apresenta-se a quantidade de entradas de insumos dos processos produtivos durante o ciclo de produção, onde se verificou um consumo total de 51,153t de argila, de 8.184,5l de água, de 4.221,42 kWh de energia elétrica e de 8,466t de pó de serragem, este último ocorrido somente na queima (Tabela 1).

Tabela 1 – Quantificação de entradas de insumos durante o ciclo de produção (7 dias).

Processos	Argila (t)	Água (l)	Energia elétrica (kWh)	Pó de serragem (t)
Alimentação	51,153	8184,5	67,67	-----
Desintegração	51,046	8167,3	152,98	
Laminação 1 e 2	51,023	8165,3	382,46	
Extrusão	50,591	8096,1	1.826,10	
Corte (rebarbas)	49,791	7968,1	40,42	
Corte (blocos defeituosos)	46,498	7439,7		
Agrupamento	45,491	7280,1	109,80	
Secagem artificial	42,396	7224,4	1.016,46	
Queima	38,616	7066,0	625,54	8,466
TOTAL NA PRODUÇÃO	51,153	8184,5	4.221,42	8,466

Fonte: autoria própria (2017).

A argila e a água foram insumos que entraram juntos no processo de alimentação e, à medida que se encaminharam para os outros processos, foram gradualmente diminuindo devido a geração de resíduos sólidos. Quanto ao consumo de energia elétrica, constatou-se que o processo de extrusão foi o mais consumista com 1.826,10kWh ou 43,14% do consumo total desse insumo na produção, pois a máquina extrusora era constituída de um motor que apresentou a maior potência na produção: 220.649,63w.

Diante disso, permite-se afirmar que a produção apresentou um consumo importante de argila e energia elétrica. Segundo o administrador da empresa, com base na venda mensal de blocos (1.100 milheiros), estimou-se um consumo de 2.695t de argila/mês na cerâmica, o que está acima da média das indústrias ceramista do RN que é de 1.300t/mês (SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICROS E PEQUENAS EMPRESAS, 2013). Quanto ao consumo de energia elétrica, atualmente, não há estudos no RN sobre o consumo do setor, mas estima-se no Brasil que o consumo médio é de 31.322 kWh/mês por empresa (SCHWOB, 2007). Na cerâmica Vilar, segundo dados da conta de energia elétrica fornecida pela COSERN, este valor, no ano de 2016, foi em média de 39.500 kWh/mês, ou seja, maior que a média nacional. O elevado consumo de argila e energia elétrica pode ser explicado devido as

inovações tecnológicas adotadas na empresa, como a secagem artificial, que utiliza várias máquinas, como ventiladores exaustores, ajudando a aumentar a produtividade da empresa. Sobre o consumo de água, ocorrido na preparação da massa argilosa (mistura das argilas), não se pode inferir se houve um consumo relevante durante a produção, visto que, de um modo geral, o consumo pode variar muito nas cerâmicas em virtude de alguns fatores como os tipos de argilas e da realização ou não de sazonalidade (SOARES, 2002). Por fim, o reúso de pó de serragem de serrarias e movelarias da região como combustível no processo de queima, se constituiu como um aspecto positivo na produção, pois tem evitado o consumo de lenha que, no RN, mensalmente, vem sendo por volta de 102.843m³ (SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICROS E PEQUENAS EMPRESAS, 2013).

Logo após a quantificação de entradas, elaborou-se a quantificação das saídas, isto é, a mensuração da quantidade de resíduos sólidos, água residual, de desperdícios de energia elétrica, de desperdício de pó de serragem e a quantidade produzida de blocos de vedação em conformidade, durante a produção. Desse modo, constatou-se um total de 12,537t de geração de resíduos sólidos e, por conseguinte, 1.118,5l de água residual. Além disso, o desperdício de energia elétrica totalizou 154,30kWh, e de pó de serragem foi de 0,142t de argila (blocos cozidos defeituoso) somente na queima. Por fim, após o ciclo de produção foram produzidos 38.616 blocos cozidos em conformidade (Tabela 2).

Tabela 2 – Quantificação de saídas durante o ciclo de produção (7 dias).

Processos	Resíduos sólidos (argila em t)	Água residual (l)	Energia elétrica desperdiçada (kWh)	Pó de serragem desperdiçado (t)	Blocos produzidos (unidade)	
Alimentação	0,107	17,2	0,14	-----	-----	
Desintegração	0,013	2,0	0,04			
Laminação 1 e 2	0,423	69,2	3,24			
Extrusão	0,800	128,0	28,88			
Corte (rebarbas)	3,302	528,4	2,68			
Corte (blocos defeituosos)	0,998	159,6	0,87			
Agrupamento	0,348	55,7	0,84			41.280
Secagem artificial	2,746	158,4	61,84			40.159
Queima	3,780	0,0	55,78	0,142	38.616	
TOTAL NA PRODUÇÃO	12,537	1118,5	154,30	0,142	38.616	

Fonte: autoria própria (2017).

Sobre a quantificação de saídas, destaca-se que a queima foi o processo que mais gerou resíduos sólidos na produção com 3,780t ou 1.543 blocos cozidos defeituosos de 2,450kg. O

corte de rebarbas foi o de maior geração de água residual com 528,4l, em virtude da geração de 3,302t de rebarbas, o equivalente a 6.880 rebarbas de 4,5cm e 0,480kg. Já o processo de secagem artificial apresentou o maior desperdício de energia elétrica com 61,84kWh, o equivalente a 40,08% do total de desperdício desse insumo na produção.

Em relação aos resíduos sólidos gerados, ou seja, massa argilosa (resíduo que cai das esteiras entre os processos de alimentação a extrusão), rebarbas de blocos crus, blocos crus defeituosos, blocos crus secos defeituosos e os blocos cozidos defeituosos, caso não estejam contaminados, todos esses podem ser classificados, como resíduos não perigosos, quer dizer, não são considerados inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos ou patogênicos e, por isso, não oferecem riscos à saúde pública e ao meio ambiente (CARREIRO, et al., 2016).

Depois da quantificação de saídas, demonstra-se, por fim, a quantificação de retroações, ou seja, os reúsos de resíduos sólidos e de água residual presente nesses resíduos. Nesse sentido, verificou-se que foram reutilizados um total de 8,747t de argila e 528,4l de água, conforme demonstrado na Tabela 3.

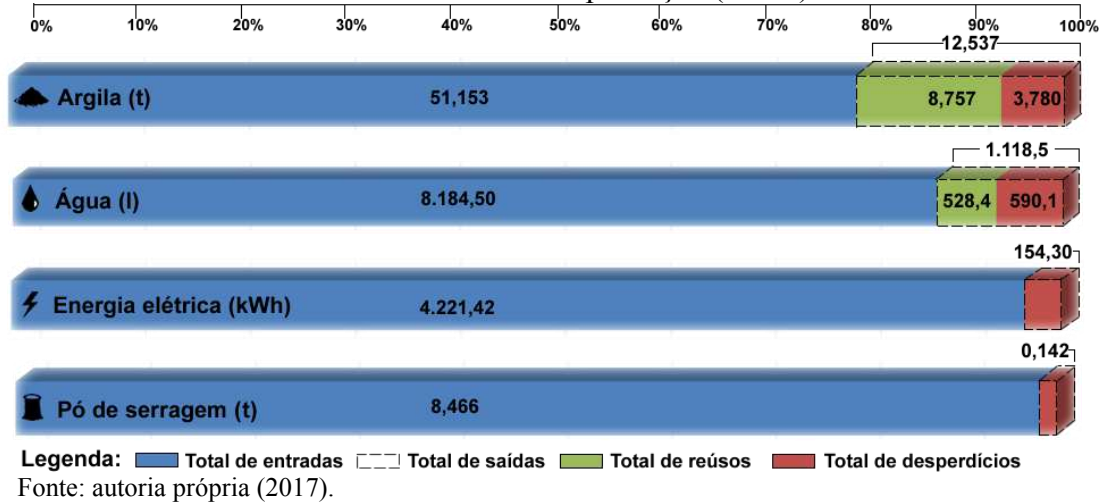
Tabela 3 – Quantificação de retroações (reúsos) durante o ciclo de produção (7 dias).

Processos	Resíduos sólidos reutilizados (argila em t)	Água residual reutilizada (l)
Alimentação	0,107	-----
Desintegração	0,013	
Laminação 1 e 2	0,423	
Extrusão	0,800	
Corte (rebarbas)	3,302	528,4
Corte (blocos defeituosos)	0,998	-----
Agrupamento	0,348	
Secagem artificial	2,746	
TOTAL NA PRODUÇÃO	8,747	

Fonte: autoria própria (2017).

O processo que mais gerou resíduo sólido reutilizado foi o de corte (rebarbas). Foram 3,302t de rebarbas reutilizadas no processo de alimentação, o que, por conseguinte, reutilizou 528,4l de água também nesse processo. Os demais processos geraram 5,454t de resíduos sólidos que foram reutilizados no estoque de argilas a céu aberto. Logo, a água residual presente nesse resíduo (590,1l) não foi contabilizado como reúso, pois esse insumo foi evaporado. Para melhor visualização dos resultados, o gráfico da Figura 17, sumariza os totais da quantificação de entradas, saídas e retroações durante o ciclo de produção.

Figura 17 – Gráfico do total de entradas, de saídas (resíduos sólidos e desperdícios) e de reúsos durante o ciclo de produção (7 dias).

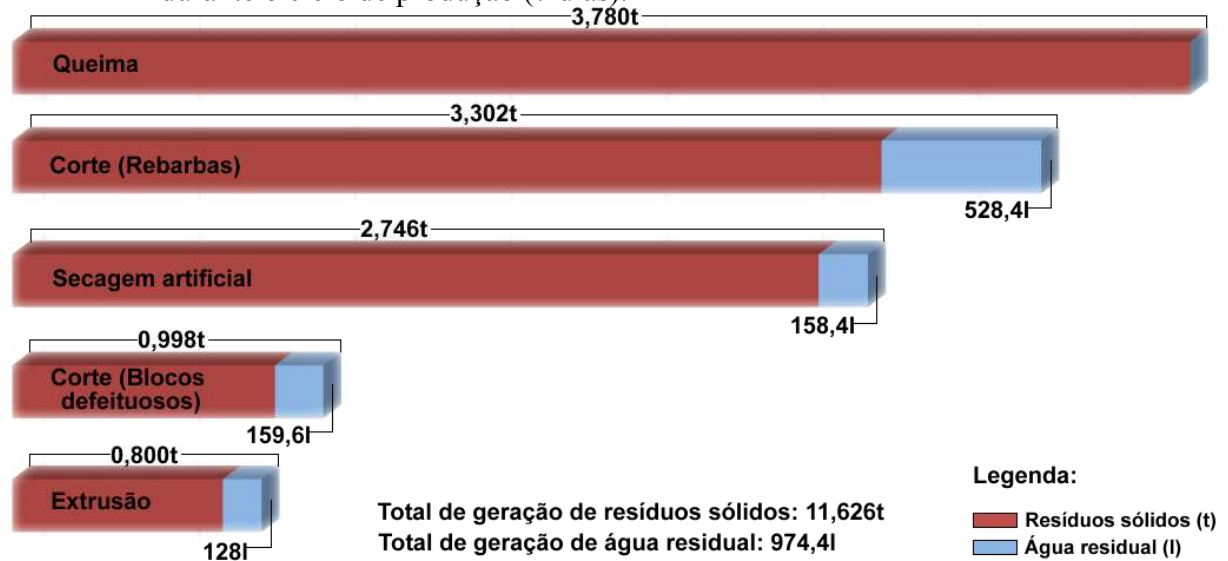


Portanto, o gráfico demonstra que a argila e, conseqüentemente, a água presente nessa matéria-prima, foram os insumos mais reutilizados, mas também, os de maiores desperdícios na produção de cerâmicos vermelhos da indústria investigada. Em seguida, vem o desperdício de energia elétrica e, finalmente, o desperdício de pó de serragem. Todos esses desperdícios verificados ao longo da produção foram causados pela geração de resíduos sólidos. A partir dessa quantificação das entradas, saídas e retroações (reúsos) da produção, foi possível identificar os processos de maior geração de resíduos sólidos e desperdícios de insumos, o que será apresentado a seguir.

4.2.3 Processos de maior geração de resíduos sólidos e desperdícios de insumos e identificação de oportunidades para minimização dos resíduos

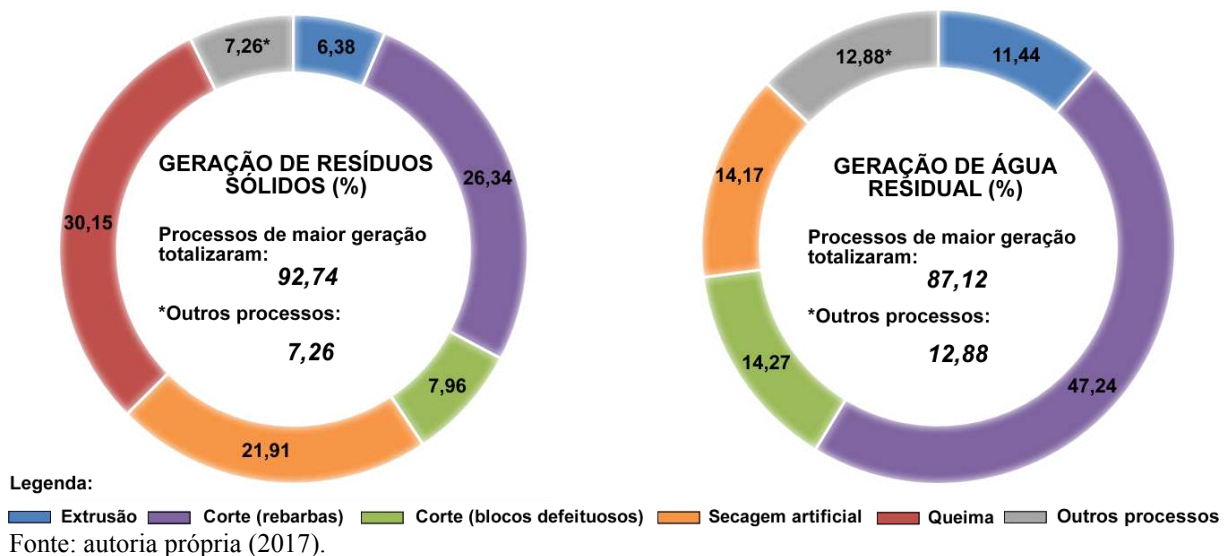
Constatou-se que, nesta ordem, queima, corte (rebarbas), secagem artificial, corte (blocos defeituosos) e extrusão, apresentaram a situação de maior geração de resíduos sólidos durante o ciclo de produção da cerâmica. Abaixo é apresentado o gráfico da quantidade de resíduos sólidos (t) e água residual (l) gerados nesses processos (Figura 18) e o gráfico da distribuição percentual dessas gerações (Figura 19).

Figura 18 – Gráfico dos processos de maior geração de resíduos sólidos (t) e água residual (l) durante o ciclo de produção (7 dias).



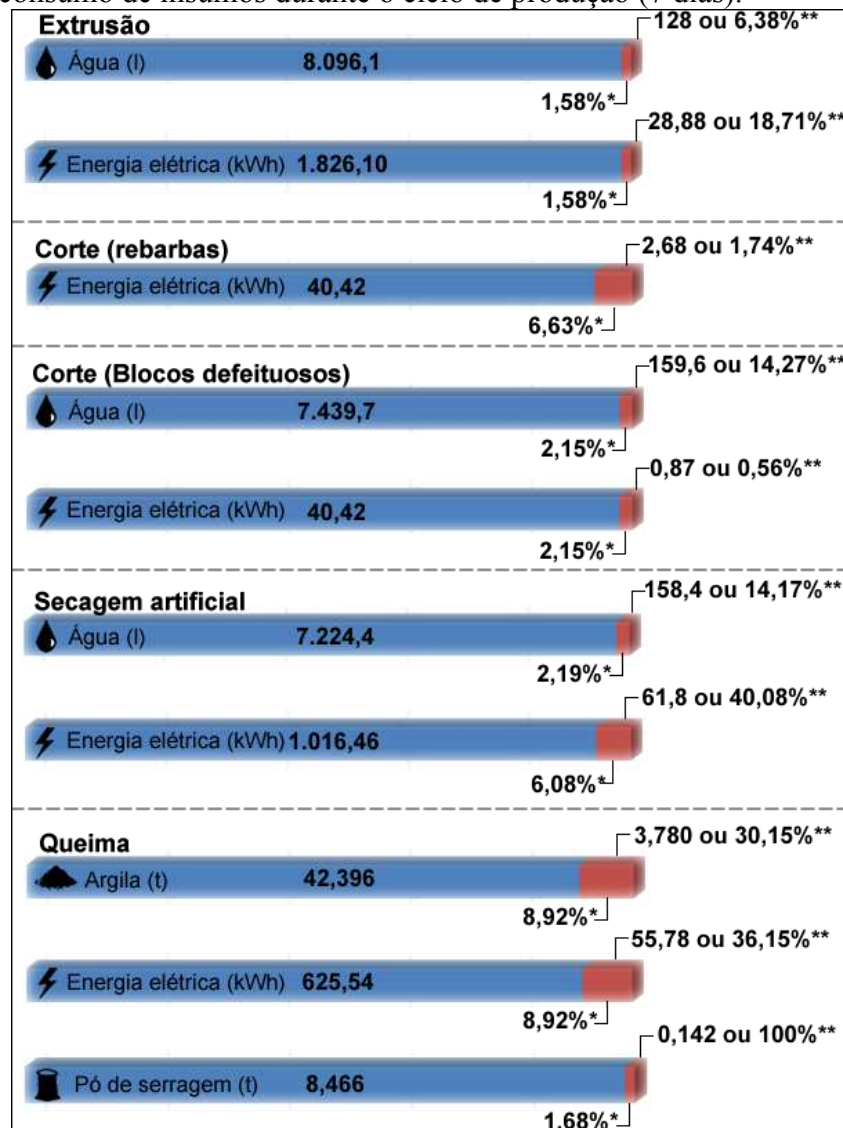
Fonte: autoria própria (2017).

Figura 19 – Gráfico da distribuição percentual dos processos de maior geração de resíduos sólidos e água residual durante o ciclo de produção (7 dias).



Juntos, observou-se que esses processos geraram 11,626t de resíduos sólidos (ou 92,74% do total de resíduos) e, conseqüentemente, 974,4l de água residual (ou 87,12% do total de água residual) durante o ciclo de produção. Por conseguinte, também foram os de maior geração de desperdícios com os maiores percentuais de ineficiência de consumo de insumos relativo ao processo e à produção (Figura 20).

Figura 20 – Processos de maior geração de desperdícios e percentuais de ineficiência de consumo de insumos durante o ciclo de produção (7 dias).



Legenda:

■ Quantidade de insumos consumidos no processo

■ Quantidade de insumos desperdiçados no processo

*Percentual de ineficiência ou desperdício do insumo relativo ao processo

**Percentual de desperdício do insumo relativo à produção

Fonte: autoria própria (2017).

A situação de desperdícios no processo de extrusão foi de 128l de água residual ou 6,38% relativos à produção e 28,88kWh de energia elétrica ou 18,71%. Em ambos, constatou-se uma ineficiência no consumo desses insumos de 1,58%. A causa dos desperdícios foi a geração de 0,800t de massa argilosa na extrusão, a qual foi reintroduzida no estoque de argilas a céu aberto, o que possibilitou o reúso da argila, contudo, a evaporação da água. O processo de extrusão pode ser a origem da maioria dos problemas de geração de resíduos sólidos de uma cerâmica vermelha (FACINCANI, 2002; TUBINO; BORBA, 2006; OLIVEIRA, 2011).

Sobretudo, erros de confecção e regulagens da boquilha da extrusora pode ser a origem de 80% dos problemas. Outros componentes da extrusora como sistema de vácuo, hélice, corta barro e camisas perfuradas, podem representar 10% dos problemas. Sendo assim, 90% de problemas de desperdícios por blocos defeituosos de uma cerâmica vermelha podem ser de origem mecânica (OLIVEIRA, 2011). Além disso, a presença de impurezas, como raízes e excesso de resíduos (areia), e a falta de homogeneização e distribuição de umidade no estoque de argilas, podem contribuir para a geração de resíduos como blocos crus defeituosos na extrusão, causando desperdícios de água e energia elétrica, além custo de retrabalho (ALMEIDA et al., 2009).

No processo de corte verificou-se uma situação de desperdício de 2,68kWh de energia elétrica ou 1,74% relativo à produção, mas 6,63% de ineficiência de consumo devido a geração de rebarbas, e de 159,6l de água (14,27%) e 0,87kWh de energia elétrica (0,56%). Ou seja, em ambos, o percentual de ineficiência de consumo destes insumos nesse processo foi de ou 2,15%, por causa da geração de blocos defeituosos. Problemas de geração de resíduos no processo de corte podem ser causados geralmente pelo: o afastamento incorreto entra a boquilha da extrusora e a máquina cortadeira, a qual deve ficar o mais distante possível para ajudar na acomodação de partículas da massa argilosa extrusada; o nivelamento da altura da máquina cortadeira em relação ao nível de altura da boquilha da extrusora, para evitar deformações na massa argilosa e; o amassamento dos blocos extrusados pelos roletes da máquina cortadeira, os quais, quando regulados, tem função de guiar os blocos extrusados para o corte (OLIVEIRA, 2011).

Na secagem artificial evidenciou-se uma situação de desperdícios de 158,4l de água ou 14,17%, relativos à produção, causando uma ineficiência de 2,19% no seu consumo e de 61,84 kWh de energia elétrica (o maior da produção, com 40,08%) com ineficiência de 6,08% no seu consumo. Esses desperdícios foram causados em virtude da geração de 2,746t de resíduos ou de 1.121 blocos secos defeituosos. Em especial, o desperdício de energia elétrica teve a contribuição do alto consumo desse insumo no processo (1.016,46 kWh), o qual tem utilizado máquinas quase que continuamente, como 10 ventiladores que consomem, cada qual, 44,66kWh, e 1 exaustor com consumo de 533,24kWh na produção. Ressalta-se que o principal problema dos blocos secos defeituosos gerados na secagem artificial foram trincas (Figura 21).

Figura 21 – Bloco seco com trincas.



Fonte: autoria própria (2016).

Trincas são pequenas fissuras que geralmente se iniciam nas bordas e propagam-se até o centro do bloco (TUBINO; BORBA, 2006). Elas surgem quando uma peça é submetida a secagem e/ou a queima (GOUVEIA; SPOSTO, 2009). Destaca-se que problemas de regulagens da boquilha da extrusora respondem com cerca de 95% das origens de trincas que surgem nos processos de secagem e queima (OLIVEIRA, 2011). Mesmo após a regulagem da boquilha o ceramista deve estar atento a outros fatores que podem causar trincas nos blocos, como o uso de argila excessivamente plástica, a secagem muito rápida, a utilização de embudo – câmara de compressão na extremidade da extrusora também conhecida como acumulador - não adequado à plasticidade da mistura das argilas e a falta de espaçamento entre os blocos quando empilhados para queima (WIECK; FH, 2013).

Por fim, a queima foi o único processo em que se evidenciou uma situação de desperdício de argila por meio da geração de 3,780t de resíduos ou 1.543 blocos cozidos defeituosos (Figura 22), o que representou um percentual de 30,15% de desperdício desse insumo relativo à produção. Na queima constatou-se também o segundo maior desperdício de energia elétrica na produção, com 55,68kWh ou 36,15%. Portanto, verificou-se uma ineficiência de 8,92% no consumo de argila e também no consumo de energia elétrica nesse processo, representado as maiores ineficiências de consumo de insumos na produção. Como a queima foi o único processo que consumiu pó de serragem, 0,14t, só nela houve desperdício desse insumo chegando a um percentual de ineficiência de 1,68%.

Figura 22 – Blocos cozidos defeituosos empilhados na parede do forno.



Fonte: autoria própria (2016).

A queima é o processo onde se manifestam elevado número de defeitos, muitos originários dos processos anteriores da produção (OLIVEIRA, 2011). Nesse contexto, destaca-se que diferente dos outros processos, onde houve a reutilização dos resíduos sólidos, na queima os blocos cozidos defeituosos, não foram reutilizados na produção. Observou-se que esses resíduos têm sido utilizados na construção de portas para o forno, obras internas e nivelamento de terreno na indústria e o restante destinados no solo do terreno da indústria. Para serem reutilizados na produção, esses resíduos devem passar por moagem ou trituração, transformando-se em chamote, ou seja, partículas de material cerâmico inferiores a 4mm, e assim inseridos na mistura das argilas (CASAGRANDE et al., 2008; JUNIOR et al., 2013).

Diante dos resultados do estudo, permite-se afirmar que nos processos de extrusão, corte (rebarbas e blocos defeituosos) e secagem artificial, a empresa tem adotado técnica de P+L de Reúso ou Reciclagem Interna (RRI), por meio do reúso dos resíduos gerados nesses processos no estoque de argilas. No entanto, a ausência ou deficiência de técnicas com enfoque na redução na fonte para evitar ou reduzir a geração de resíduos, tem contribuído para os desperdícios de água e energia elétrica. Sendo assim, tais desperdícios, além de não agregar valor ao produto, tem causado impactos adversos à empresa, como o aumento de custos na produção, e ao meio ambiente, como a intensificação da redução da disponibilidade de água e energia elétrica, uma vez que foram insumos consumidos, mas não convertidos em produtos por ineficiência nesses processos.

Desse modo, para os processos de extrusão, corte (rebarbas e blocos defeituosos) e secagem artificial, emergem oportunidades de utilizar técnicas de P+L de Boas Práticas Operacionais (BPO) que visam reduzir resíduos sólidos e desperdícios na fonte, a saber: análise

da qualidade da argila na jazida, por meio da investigação do teor de resíduo (areia), uso de peneiras com menor abertura para evitar a passagem de impurezas no processo de extrusão, manutenção preventiva das máquinas e treinamento para os funcionários (MACIEL; FREITAS, 2013). Além disso, para o processo de corte de rebarbas surge uma oportunidade de técnica de P+L, como a regulagem da cortadeira para cortar rebarbas com menor tamanho (de 4,5cm para 3,0cm), o que não comprometerá a qualidade dos blocos cortados e, certamente, reduzirá a geração de resíduos e desperdícios. Tais técnicas podem reduzir o consumo de argila, aumentando o tempo de vida útil das jazidas desse recurso natural, de energia elétrica e os custos de produção, contribuindo para a sustentabilidade da cerâmica vermelha objeto de estudo.

Quanto a queima, pode-se dizer que a empresa tem adotado técnicas de P+L de Mudanças de Matéria-Prima ou Insumos (MMPI), quando reutiliza o pó de serragem de outras indústrias, em detrimento da lenha, como combustível, e também, de Reúso ou Reciclagem Interna (RRI). Contudo, diferente dos outros processos, o resíduo gerado, os blocos cozidos defeituosos, têm sido reutilizados para outros fins não relacionados ao processo produtivo ou destinado no solo. Nesse sentido, a geração desses resíduos, tem contribuído para os desperdícios de argila, energia elétrica e pó de serragem, não agregando valor ao produto e causando impactos adversos à empresa, como o aumento de custos na produção, e ao meio ambiente, como a intensificação da redução da disponibilidade de argila, de água, de energia elétrica e de espaço no terreno da indústria.

Nesse cenário, para o processo de queima, uma provável oportunidade é a utilização de técnicas de P+L de Reúso ou Reciclagem Interna (RRI) associada com Mudanças de Matérias-Primas ou Insumos (MMPI), por meio da incorporação de chamote à massa argilosa. Além de reduzir o uso de argila e seu desperdício, a incorporação de chamote promove a reciclagem interna, diminui os impactos do descarte de resíduos ao meio ambiente e ajuda a melhorar as propriedades tecnológicas de produtos cerâmicos, tornando sua utilização economicamente viável na produção (FERNANDES et al., 2012; ZACCARON et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2016). Para isso, a empresa deverá investir na compra de máquina de moagem para triturar os blocos cozidos defeituosos e transformá-los em chamote. Logo, tais técnicas podem contribuir para a sustentabilidade da cerâmica vermelha investigada, pois, além de evitar à disposição inadequada de resíduos ao meio ambiente, ajuda a reduzir custos de produção e, sobretudo, o consumo de argila, aumentando o tempo de vida útil das jazidas desse recurso natural.

Percebe-se que a geração de resíduos sólidos e, conseqüentemente, os desperdícios de insumos têm sido uma preocupação da empresa, não só por causa de questões ambientais ou

econômicas, mas, principalmente, em virtude da competitividade do mercado. De acordo com o administrador da empresa, com a atual crise econômica, algumas cerâmicas vermelhas da região têm reduzido a produção ou até mesmo abrindo falência. Contudo, outras, têm buscado inovações tecnológicas, como a construção de fornos mais eficientes e automação no processo produtivo. Para ele, não há barreiras para implementação de técnicas de P+L, principalmente, aquelas de Boas Práticas Operacionais (BPO) que geralmente são de baixo custo. Em contraponto, na atualidade, não tem sido possível, por exemplo, investir na compra de máquina de moagem para triturar os blocos cozidos defeituosos e transformá-los em chamote para ser incorporada à argila, conclui ele.

5 CONCLUSÕES

Ratifica-se, a partir da revisão bibliográfica, que a P+L é uma abordagem que, ao ser implementada no processo de produção da indústria de cerâmica vermelha, melhora o desempenho socioambiental, uma vez que previne ou reduz desperdícios e geração de resíduos nocivos ao meio ambiente ao longo de um processo produtivo, não somente em sua finalização, ou até mesmo ao longo do ciclo de vida de um produto. Ou seja, a P+L se centra na prevenção, logo, traz contributos teóricos e técnicos que podem garantir a sustentabilidade do ramo fabril em questão. Além disso, pode-se afirmar que a revisão de literatura realizada sobre P+L, sustentabilidade e cerâmica vermelha contribuiu teoricamente para a redução das ambiguidades e das incongruências suscitadas por esses termos.

Dentre o universo de técnicas propostas nos artigos analisados, constatou-se que a maioria (57%) tem sido classificada como mudança de matéria-prima ou de insumo (MMPI), advinda da reciclagem de resíduos de outros processos industriais para ser utilizada como matéria-prima incorporada à massa argilosa, a exemplo do chamote oriundo de RCV, do lodo de ETA, do rejeito de rochas ornamentais, de vidro de lâmpadas fluorescentes descontaminadas e de resíduos de carvão mineral.

Destaca-se ainda que as principais contribuições práticas que a P+L pode proporcionar à sustentabilidade da cerâmica vermelha são: (i) a preservação de estoque de argilas por meio da sua substituição por resíduos reciclados de outros processos industriais; (ii) o uso eficiente da argila por meio de incorporação de resíduos reciclados à massa argilosa para aumentar o tempo de vida útil das jazidas de argila; (iii) a redução de desperdícios de argila, água, energia e emissões de gases para a atmosfera por meio da aplicação de boas práticas operacionais, de mudanças tecnológicas de processos, de reúso ou reciclagem interna de insumos; e (iv) a redução de riscos à saúde pública e ao meio ambiente, ao evitar a disposição inadequada de resíduos por meio de reúso ou reciclagem interna (na própria indústria) ou externa (para outras indústrias).

Ademais, quanto as contribuições teóricas, estas podem colaborar com informações e conhecimentos técnicos que aplicados podem reduzir os custos de produção e os desperdícios e resíduos no processo produtivo cerâmico, gerando oportunidades de receitas para as empresas do setor.

Quanto ao diagnóstico de geração de resíduos sólidos e desperdícios de insumos do processo produtivo da Vilar Produtos Cerâmicos de Tangará-RN, a partir do uso da metodologia de implementação da P+L do CNTL, conclui-se que o presente estudo constatou uma situação

de geração de resíduos sólidos e desperdícios, sobretudo, nos processos de extrusão, corte, secagem e queima. Nesses processos foram gerados 11,626t de resíduos sólidos (ou 92,74% do total de resíduos) e, conseqüentemente, 974,4l de água residual (ou 87,12% do total de água residual). Em consequência disso, comprovou-se que esses processos demonstraram ser os de maior ineficiência no consumo de argila, água, energia elétrica e pó de serragem.

Nos processos de extrusão, corte (rebarbas e blocos defeituosos) e secagem artificial, a empresa tem adotado técnica de P+L de Reúso ou Reciclagem Interna (RRI), por meio do reúso dos resíduos gerados nesses processos no estoque de argilas. Apesar disso, a geração de resíduos, tem contribuído para os desperdícios de água e energia elétrica. Por sua vez, na queima a empresa tem adotado técnicas de P+L de Mudanças de Matéria-Prima ou Insumos (MMPI), reutilizando o pó de serragem de outras indústrias, em detrimento da lenha, como combustível, e também, de Reúso ou Reciclagem Interna (RRI), reutilizando os blocos cozidos defeituosos para outros fins não relacionados ao processo produtivo. No entanto, parte desses blocos também tem sido descartado no solo. Portanto, a geração desses resíduos, tem contribuído para os desperdícios de argila, de energia elétrica e de pó de serragem. Em suma, os resíduos sólidos e desperdícios gerados na produção não agregam valor ao produto e causam impactos adversos à empresa, como o aumento de custos na produção, e ao meio ambiente, como a intensificação da redução da disponibilidade de argila, de água e energia elétrica.

Sendo assim, torna-se imperativo, para a indústria de cerâmica vermelha investigada, buscar implementar técnicas de P+L de baixo custo, como Boas Práticas Operacionais (BPO), quais sejam: análise da qualidade da argila na jazida, por meio de análise granulométrica para investigar o teor de resíduo (areia), manutenção preventiva das máquinas, treinamento para os funcionários e a regulagem da cortadeira para cortar rebarbas com menor tamanho (de 4,5cm para 3,0cm). No futuro, quando numa situação mais favorável do ponto de vista econômico, sugere-se investir em técnicas de P+L de Reúso ou Reciclagem Interna (RRI) associada com Mudanças de Matérias-Primas ou Insumos (MMPI), por meio da incorporação de chamote à massa argilosa, sendo necessário a aquisição de máquina para realizar o tritramento dos blocos cozidos defeituosos transformando-os em chamote.

Destaca-se que o estudo em pauta pode ter utilidade teórica e prática, servindo como um caminho para levantamento de trabalhos relacionados ao tema, mas também, como uma fonte metodológica que poderá ser aplicada ou adaptada em outras cerâmicas vermelhas. Ademais, a elaboração do presente diagnóstico para a Vilar Produtos Cerâmicos de Tangará-RN, pode contribuir, no futuro, como base para implementação de técnicas de P+L na empresa, traduzindo-se em benefícios socioeconômicos e ambientais mais sustentáveis para os que fazem

a empresa e a sociedade, como o uso eficiente de recursos naturais e a redução de resíduos sólidos e desperdícios, a diminuição de custo na produção e a diminuição de riscos à saúde dos trabalhadores.

REFERÊNCIAS

ABREU, S. F. **Recursos minerais do Brasil**. 2 ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1973.

ALMEIDA, E. P. et al. Redução do desperdício de lenha e matéria-prima aplicando a metodologia de produção mais limpa no setor de cerâmica vermelha na região do Seridó. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2. 2009, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: UNIP, 2009. Disponível em: < <http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/4a/2/E.%20P.%20Almeida%20-%20Resumo%20Exp%20-%204A-2.pdf>>. Acesso em: 1 nov. 2015.

ANTUNES, J. et. al. **Sistemas de produção**: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta. Porto Alegre: Bookman, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6520**: rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 10004**. Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15270-1**. Componentes cerâmicos Parte 1: blocos cerâmicos para alvenaria de vedação. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA. **Relatório anual. 2015**. Disponível em: < http://anicer.com.br/wp-content/uploads/2016/11/relatorio_2015.pdf >. Acesso em: 23 fev. 2015.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial**: conceitos, modelos e instrumentos. 2 ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

BASS, L. W. Cleaner production: beyond projects. **Journal of Cleaner Production**, London, n. 1-2, p. 55-59, 1995.

BARTELMUS, P. Dematerialization and capital maintenance: two sides of the sustainability coin. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 46, p. 61-81, 2003.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 307, de 17 de jul. 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 08 mai. 2016.

_____. **Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política nacional de resíduos Sólidos; altera a lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, nº 147, p. 3, 03 ago. 2010.

_____. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Anuário estatístico do setor de transformação de não metálicos**. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1732813/Anu%C3%A1rio+Estat%C3%ADstico+do+Setor+de+Transforma%C3%A7%C3%A3o+dos+N%C3%A3o+met%C3%A1licos+2015.pdf/3ae38c3d-d37f-49cd-9586-bcef858914c6> >. Acesso em: 05 jul. 2016.

BRASIL. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Boletim de análise e conjuntura energética**. 2006.

BRUXEL, F. R. et al. Estudo da adição de resíduo (lodo) de gemas na massa cerâmica vermelha. **Cerâmica**, São Paulo, v. 58, n. 356, p. 211-215, 2012.

CARREIRO, M. E. A. et al. Resíduo de quartzito - matéria-prima alternativa para uso em massas de cerâmica estrutural. **Cerâmica**, São Paulo, v. 62, n. 362, p. 170-178, 2016.

CASAGRANDE, E, M. C. et al. Reaproveitamento de resíduos sólidos industriais: processamento e aplicações no setor cerâmico. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 13, n. 1-2, p. 34-42, 2008.

COSTA JÚNIOR, E. L. **Gestão em processos produtivos**. Curitiba: Ibpex, 2008.

COSTANZA, R. *Ecological economics: the science and management of sustainability*. New York: Columbia Press, 1991.

DELFINO, R. J.; SIOUTAS, C.; MAILIK, S. Potential role of ultrafine particles in associations between airborne particle mass and cardiovascular health. **Environmental Health Perspective**, London, v. 113, n. 8, p. 934-946, 2005.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. São Paulo: Oficina de textos, 2012.

DIAGNÓSTICO. In: ORIGEM da palavra. [s.l.], [s.n.], jan. 2004. Disponível em <<http://origemdapalavra.com.br/site/palavras/diagnostico/>>. Acesso em: 25 mai. 2016.

DODIC, S. N. et al. Cleaner bioprocesses for promoting zero-emission biofuels production in Vojvodina. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, p. 3242–3246, 2010.

FACINCANI, E. **Coletânea de tecnologia cerâmica: cerâmica estrutural**. São Paulo: Faenza Editor do Brasil, 2002.

_____. **Tecnologia cerâmica: i laterizi**. Gruppo Editoriale Faenza Editrice. Faenza. Italia. Seconda edizione, 1992.

FARIA, K. C. P.; HOLANDA, J. N. F. Incorporation of sugarcane bagasse ash waste as an alternative raw material for red ceramic. **Cerâmica**, São Paulo, v. 59, n. 359, p. 473-480, 2013.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica vermelha**. Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/GUIAS_TECNICOS_AMBIENT AIS/guia_ceramica.pdf>. Acesso em: 11 out. 2015.

FERNANDES, P. et al. O estudo da diminuição da rugosidade da superfície de telhas cerâmicas. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.17, n. 5-6, p. 42-46, 2012.

FRESNER, J. Cleaner production as a means for effective environmental management. **Journal of Cleaner Production**, London, v. 6, p. 171-179, 1998.

GARCIA, E. et al. Resíduo de cerâmica vermelha (RCV): uma alternativa como material pozolânico. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 19, n. 4, p. 32-38, 2014.

GASI, T. M. T; FERREIRA, E. Produção mais limpa. In: VILELA JÚNIOR, A; DEMAJORVIC, J (Orgs.). **Modelos e ferramentas de gestão ambiental: desafios e perspectivas para as organizações**. 3 ed. São Paulo: Ed. SENAC, 2013.

GAUSSIN, M. et al. Assessing the environmental footprint of manufactured products: A survey of current literature. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 146, p. 515-523, 2011.

GIL, A C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6.ed., São Paulo: Atlas, 2008.

GLAVIC, P.; LUKMAN, R. Review of sustainability terms and their definitions. **Journal of Cleaner Production**, London, v.15, p.1875-1885, 2007.

GRIGOLETTI, G. C.; SATTTLER, M. A. Estratégias Ambientais Para Indústrias de Cerâmica Vermelha do Estado do Rio Grande do Sul. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, p. 19-32, 2003.

GURBUZ, S. et al. Cleaner production implementation through process modifications for selected SMEs in Turkish olive oil production. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, p. 613-621, 2004.

HILLARY, R.; THORSEN, N. Regulatory and self-regulatory measures as routes to promote cleaner production. **Journal of Cleaner Production**, London, v. 7, p. 1-11, 1999.

HOWGRAVE-GRAHAM A.; VAN BERKEL, R. Assessment of cleaner production uptake: method development and trial with small businesses in Western Australia. **Journal of Cleaner Production**, London, v. 15, p. 787-797, 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, Volume 2, Energy. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>>. Acesso em: 30 nov.2016.

JUNIOR, M.F. H., SCHWOB, M. R. V., RODRIGUES, J. A. P., **Manual de eficiência energética na indústria de cerâmica vermelha**. INT/MCTI, Rio de Janeiro, 2013.

KHURIYATI, N.; WAGIMAN; KUMALASARI, D. Cleaner production strategy for improving environmental performance of small scale cracker industry. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 3, p. 102-107, 2015.

KIPERSTOK, A. et al. **Prevenção da poluição**. Brasília: SENAI/DN, 2002.

KIST, L. T.; MOUTAQI, S. E.; MACHADO, E. L. Cleaner production in the management of water use at a poultry slaughterhouse of Vale do Taquari, Brazil: a case study. **Journal of Cleaner Production**, London, v. 17, p. 1200-1205, 2009.

LANDOLFO, R.; OLIVEIRA, M. P.; NOGUEIRA, N. A. S. Estudo comparativo da utilização de resíduo cerâmico, como agregado graúdo, na produção de concreto. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 19, n. 5, p. 35-41, 2014.

LEHTONEN, M. The environmental-social interface of sustainable development: Capabilities, social capital, institution. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 49, p. 199-214, 2004.

LIMAVERDE, J, de A. **A indústria de cerâmica vermelha no Nordeste**. Fortaleza: BNB/ETENE, 1983.

LINDSEY, T. Sustainable principles: common values for achieving sustainability. **Journal of Cleaner Production**, London, v. 19, p. 561-565, 2011.

LUKEN, R. A. et al. A 20-year retrospective of the National Cleaner Production Centres Programme. **Journal of Cleaner Production**, London, v. 112, p. 1165-1174, 2016.

LUKEN, R. A.; NAVRATIL, J. A programmatic review of UNIDO/UNEP National Cleaner Production Centres. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, p. 195–205, 2004.

MACIEL, D.; FREITAS, L. Análise do processo produtivo de uma empresa do segmento de cerâmica vermelha à luz da produção mais limpa. **Revista Produção Online**, Santa Catarina, v. 13, p. 1355-1380, 2013.

MASSOTE, C. H. R.; SANTI, A. M. M. Implementation of a cleaner production program in a Brazilian wooden furniture factory. **Journal of Cleaner Production**, London, v. 46 89-97, 2013.

MEDEIROS, D. D. de et al. Aplicação da produção mais limpa em uma empresa como ferramenta de melhoria contínua. **Produção**, São Paulo, v. 17, p. 109-128, 2007.

MENDES, T. M.; MORALES, G.; REIS, P. J. Use of basaltic waste as red ceramic raw material. **Cerâmica**, São Paulo, v 62, n. 362, p. 157-162, 2016.

MICHELOZZI, P. et al. Air pollution and daily mortality in Rome, Italy. **Occupational and Environmental Medicine**, Pennsylvania, v. 55, n. 9, p. 605-610, 1998.

MICROSOFT Excel. Version 15. O [s.l]: Microsoft corporation , 2013. 1 DVD-ROM.

MORAIS, M. M. et al. Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais e a Produção Mais Limpa, Estudo de Caso em Indústria de Cerâmica Vermelha. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 5. 2015, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: UNIP, 2015. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/fifth/files/sessoes/5A/1/morais_mm_et_al_academic.pdf> . Acesso em: 01 jul. 2016.

MOTTA, J. F. M. et al. As matérias-primas plásticas para a cerâmica tradicional: argilas e caulins. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 9, p. 28-39, 2004.

NANDI, V. S. et al. Adição de vidro reciclado de lâmpadas na fabricação de cerâmica vermelha. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 19, n. 5, p. 29-32, 2014.

NANDI, V. S. et al. Estudo do comportamento energético em forno túnel de cerâmica vermelha. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 20, n. 5-6, p. 30-39, 2015.

NILSSON, L. et al. **Cleaner production technologies and tools for resource efficient production**. Uppsala, The Baltic University Press, 2007.

OHNO, T. **Sistema toyota de produção**: além da produção em larga escala. Porto Alegre, Bookman, 1997.

OLIVEIRA, A. A. **Tecnologia em cerâmica**. Criciúma: Editora Lara, 2011.

OLIVEIRA, J. F. G. de; ALVES, S. M. Adequação ambiental dos processos usinagem utilizando produção mais limpa como estratégia de gestão ambiental. **Produção**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 129-138, 2007.

OLIVEIRA, Y. L. et al. Estudo da reutilização de resíduos de telha cerâmica (chamote) em formulação de massa para blocos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 21, n. 2, p. 45-50, 2016.

PAIM, R. et al. **Gestão de processos**: pensar, agir e aprender. Rio de Janeiro: Bookman, 2009.

PARKESIAN, G. A.; SOARES, M. M. **Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos**: projeto, execução e controle. São Paulo. O nome da Rosa, 2010.

PEDROTI, L. G. et al. Desenvolvimento de massa cerâmica para blocos queimados e prensados. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 16, n. 1, p.25-30, 2011.

PIMENTA, H. C. D.; GOUVINHAS, R. P. A produção mais limpa como ferramenta da sustentabilidade empresarial: um estudo no estado do Rio Grande do Norte. **Produção**, v. 22, n. 3, p. 462-476, 2012.

PINHEIRO, B. C. A.; ESTEVÃO, G. M.; SOUZA, D. P. Lodo proveniente da estação de tratamento de água do município de Leopoldina, MG, para aproveitamento na indústria de cerâmica vermelha Parte I: caracterização do lodo. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, p. 204 -211, 2014.

RAHIM, R.; RAMAN, A. A. A. Cleaner production implementation in a fruit juice production plant. **Journal of Cleaner Production**, London, v. 101, p. 215-221, 2015.

RIBEIRO, D. V.; MORELLI, M. R. **Resíduos sólidos**: problema ou oportunidade? Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

RODRIGUES, D. V. et al. Durabilidade de peças cerâmicas vermelhas com adição de rejeito de rocha ornamental isenta de granalha. **Cerâmica**, São Paulo, v. 58, n.347, p. 286-293, 2012.

ROSSO, F. et al. Obtenção de telhas usando compósito cerâmica-polímero. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 19, n. 5, p. 42-45, 2014.

SALEIRO, G. T.; HOLANDA, J. N. F. Processing of red ceramic using a fast-firing cycle. **Cerâmica**, São Paulo, v. 58, n. 347, p.393-399, 2012.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos**. 2.ed. São Paulo: Oficina de textos, 2013.

SANTOS, P. S. **Tecnologia de argilas aplicada às argilas brasileiras: aplicações**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1975.

SARANDÓN, S.J. **El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas**. S.J Sarandón (Editor) Agroecología: El Camino hacia una agricultura sustentable. Ediciones Científicas. La Plata, Argentina Ediciones Científicas Americanas, 2002.

SARTORI, S.; LATRÔNICO, F.; CAMPOS, L.M.S. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: uma taxonomia no campo da literatura. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 17, p. 01-22, 2014.

SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS DO RIO GRANDE DO NORTE. Diagnóstico da indústria de cerâmica vermelha do Rio Grande do Norte. **Relatório final**. Natal, 2013.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Implementação de programas de produção mais limpa**. Porto Alegre: CNTL, SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL 2003a.

_____. **Diagnóstico ambiental e de processo**. Porto Alegre: CNTL, SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL 2003b.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SICHE, J. R. et al. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 10, n. 2, p.137–148, 2007.

SILVA G. C. S. da; MEDEIROS D. D. de. Metodologia de checkland aplicada à implementação da produção mais limpa em serviços. **Gestão & Produção**, São Carlos, v.13, p.411-422, 2006

SILVA, A. C. et al. Análise de viabilidade econômica financeira para a implantação de uma central de massa em uma indústria cerâmica de Itaboraí, RJ. **Cerâmica**, São Paulo, v. 60, p. 490-500, 2014.

SILVA, D. A. L et al. Quality tools applied to cleaner production programs: a first approach toward a new methodology. **Journal of Cleaner Production**, London, v. 47, p. 174-187, 2013.

SLACK, N. et al. **Administração da Produção**. 10 ed. São Paulo: Atlas, 2006.

SOUTO, G. D. B.; POVINELLI, J. Resíduos Sólidos. In: CALIJURI M. C. ; CUNHA, D. G. F. **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. p. 565 – 587.

SOUZA, D. M. de et al. Comparative life cycle assessment of ceramic versus concrete roof tiles in the brazilian context. **Journal of Cleaner Production**, London, v.89, p.165-173, 2015.

STANISKIS, J. K. Water saving in industry by cleaner production. **Water Purification and Management**, Amsterdam, p. 1-33, 2011.

TAGUCHI, S. P. et al. Avaliação das propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de rocha ornamental proveniente do tear de fio diamantado, **Cerâmica**, São Paulo, v. 60, n. 354, p. 291-296, 2014.

TARTARI, R. et al. Lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, Foz do Iguaçu, PR, como aditivo em argilas para cerâmica vermelha. Parte II: incorporação do lodo em mistura de argilas para produção de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, São Paulo, n. 344, p. 387-394, 2011.

TÉCNICA. In: INFOPÉDIA. **Dicionário da língua portuguesa com acordo ortográfico**. Técnica. Porto: Porto Editora. Disponível em: <<http://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/Técnica>>. Acesso em: 27 de jun. 2016.

TEIXEIRA, S. R. et al. The effect of incorporation of a Brazilian water treatment plant sludge on the properties of ceramic materials. **Applied Clay Science**, Amsterdam, n. 4, p. 561–565, 2011.

TELOEKEN, A. C. et al. Utilização de lodo galvânico como matéria-prima em cerâmica vermelha e caracterização dos corpos cerâmicos obtidos quanto as propriedades tecnológicas e a imobilização de metais. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 16, n. 2, p.14-19, 2011.

TUBINO, L.C.B; BORBA, P. **Etapas do processo cerâmico e sua influência no produto final**: massa, extrusão, secagem e queima. Dossiê Técnico. Rio Grande do Sul, SENAI, 2006.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Division of technology, industry, and economics. Sustainable consumption & production branch. **Resource efficient and cleaner production**. Disponível em: <<http://www.unep.fr/scp/cp/>>. Acesso em 01 de jul. 2016.

_____. **Government strategies and policies for cleaner production**. UNEP Industry & Environment, Paris, 1994.

_____. **Introduction to cleaner production assessments with applications in the food processing industry**. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 1995.

_____. **Guidance manual how to establish and operate cleaner production centres**. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, Paris, 2004.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Facility pollution prevention planning guide**. Cincinnati, EPA 600/R92/088, 1992.

VAN BERKEL, R. Cleaner production and eco-efficiency initiatives in Western Australia 1996 e 2004. **Journal of Cleaner Production**, London, v. 15, p.741-755, 2007.

VAN BERKEL, R. Evolution and diversification of National Cleaner Production Centres (NCPCs). **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 7, p. 1556-1565, 2010.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 10. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

VIEIRA, L.C.; AMARAL, F.G. Barriers and strategies applying cleaner production: a systematic review. **Journal of Cleaner Production**, London, v. 113, p. 5-16, 2016.

WIECK, R., FH, J. D., Extrusão em Cerâmica Vermelha: Princípios Básicos, Problemas e Soluções. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 16-23, 2014.

WOLFF, E.; SCHWABE, W. K.; CONCEIÇÃO, S. V. Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics. **Journal of Cleaner Production**, London, v. 96, p. 282-289, 2015.

ZACCARON A. et al. Estudo da utilização do resíduo proveniente do beneficiamento do carvão mineral como matéria-prima alternativa na fabricação de blocos de vedação. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 38-44, 2015.

ZACCARON, A. et al. Incorporação de chamote na massa de cerâmica vermelha como valorização do resíduo. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 33-39, 2014.

APÊNDICE A – Produção mais limpa: contributos teórico-práticos para a sustentabilidade da cerâmica vermelha

(Cleaner production: contributions practical and theoretical for the sustainability of the red ceramic)

R. G. da Silva¹, V. P. da Silva²

^{1,2}*Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais (PPgUSRN), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), campus Natal Central, Av. Senador Salgado Filho, 1559, Tirol, Natal-RN, CEP: 59015-000
robsontecnologo@yahoo.com.br, valdenildo.silva@ifrn.edu.br*

Resumo

Sustentabilidade tem sido, na atualidade, um termo com crescente utilização no segmento da cerâmica vermelha ou estrutural brasileira, setor em que abordagens como a produção mais limpa (P+L) podem vir a contribuir, uma vez que suas técnicas visam a prevenir a geração de desperdícios e de resíduos ao longo do ciclo de vida de produtos e processos. Nessa perspectiva, este estudo busca analisar a literatura acerca dos temas produção mais limpa, sustentabilidade e cerâmica vermelha, almejando contribuir, por meio de elementos teórico-práticos, para o aprimoramento sustentável da produção desse ramo fabril. Além disso, objetiva desvendar lacunas e desafios para futuros estudos que envolvam as temáticas supracitadas. A metodologia foi fundamentada em dados bibliográficos, documentais e de sítios eletrônicos (nacionais e estrangeiros). Para tanto, foi realizada uma pesquisa bibliográfica de artigos científicos no portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), em que foram selecionados e analisados 23 artigos em um período de cinco anos, a fim de identificar e classificar as técnicas de P+L propostas e, por fim, discutir suas contribuições para a sustentabilidade do setor. Os resultados apontam que há vários avanços, mas que ainda restam hiatos e desafios relevantes a serem superados.

Palavras-chave: *produção mais limpa, sustentabilidade, cerâmica vermelha.*

Abstract

Sustainability has been, a term with increasing use in the Brazilian segment of the red or structural ceramic, sector where approaches such as cleaner production (CP) could contribute, since their techniques aim to prevent generation waste and residue along the life cycle of products and processes. In this perspective, this study seeks to analyze the literature about: the cleaner production, sustainability and red ceramics. Aiming to contribute, by theoretical and practical elements for the sustainable improvement of the production of this industrial branch. In addition, search uncover gaps and challenges for future studies involving the above themes. The methodology was based on bibliographic data, documentary and electronic sites (Brazilian and foreign). Therefore, a literature of scientific articles in journals portal of Brazilian Higher Education Personnel Improvement Coordination (BHEPIC) research, where were selected and analyzed 23 articles over a period of five years, in order to identify and classify technical CP proposals and finally discuss their contributions to the industry's sustainability. The results show that there are many advances, but that remain relevant gaps and challenges to be overcome.

Keywords: cleaner production, sustainability, red ceramic.

INTRODUÇÃO

Neste limiar de século, não se pode deixar de enfatizar que a história da relação das organizações industriais com o meio ambiente ainda tem sido de grandes impactos ambientais, afetando o futuro da humanidade e do planeta quanto ao uso insustentável dos recursos naturais e à saúde humana. Os desperdícios e a geração de resíduos de grande monta em praticamente todas as fases da produção evidenciam a enorme ineficiência dos processos produtivos, comprometendo as condições de vida das pessoas e o seu ambiente vivencial. Tal situação de insustentabilidade de recursos naturais passou a ser percebida a partir do estudo exploratório realizado sobre a indústria de cerâmica vermelha denominada Vilar Produtos Cerâmicos, localizada na zona rural do município de Tangará-RN. Nessa empresa, viu-se que a geração de desperdícios e resíduos, principalmente nos processos de extrusão, corte, secagem e queima, consistem em um problema a ser superado por meio de abordagens mais sustentáveis.

Não se pode negar que o ramo industrial da cerâmica vermelha ou estrutural tem sua parcela de contribuição na deterioração da qualidade ambiental, pois ainda existem inúmeras indústrias que perseguem o controle da poluição (utilizando técnicas do tipo fim-de-tubo) em detrimento de uma produção mais limpa e preventiva, que produz com menos

desperdícios de matéria-prima, insumos e outros materiais utilizados nos processos de produção de cerâmicos. Em certa medida, desperdícios e geração de resíduos, no âmbito da indústria de cerâmica vermelha brasileira, podem estar atrelados às grandes dimensões desse ramo industrial, que é representado, atualmente, por 4,8% da indústria da construção civil, possuindo cerca de 9.071 empresas, que produzem cerca de 71 bilhões de peças por ano, sendo responsável por mais de 90% das coberturas de telhado e paredes de blocos de vedação do país. As empresas do setor cerâmico têm faturado aproximadamente R\$ 21 bilhões por ano e gerado mais de 400 mil empregos diretos [1, 2]. Contudo, destaca-se que os desperdícios e resíduos gerados possam estar diretamente relacionados às opções de produção despreocupadas com a sustentabilidade.

Esse segmento industrial tem apresentado uma estrutura empresarial diversificada, na qual há a prevalência de empreendimentos familiares de pequeno e médio porte com deficiências de mecanização e gestão, bem como de empreendimentos de médio a grande porte com algumas inovações tecnológicas modernas [3]. O processo produtivo da cerâmica vermelha se inicia com a extração da argila (matéria-prima), seguida pela estocagem, alimentação, desintegração, homogeneização ou mistura da argila, laminação, extrusão, corte (para blocos de vedação e lajotas), prensagem (para telhas), secagem, queima e estocagem de produtos para expedição ou venda [4]. Tal processo utiliza como principais insumos, além da argila (sua principal matéria-prima), água, lenha, energia térmica e energia elétrica [5].

Na busca por uma melhor produtividade e sustentabilidade, o setor de cerâmicos vermelhos tem procurado aderir ao Programa Setorial da Qualidade (PSQ) do governo federal e à participação em projetos como o Cerâmica Sustentável é + Vida, cujo o propósito é implantar a gestão empresarial, a inovação tecnológica, a eficiência energética e o licenciamento ambiental que permitam a incorporação e o tratamento de resíduos sólidos nos processos produtivos das empresas do segmento [1]. Ressalte-se que uma das inovações no setor ceramista tem sido o do uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de produtos, como telhas e blocos, em comparação com a produção de concreto [1], visando à identificação comparativa de maior degradador ambiental. Por meio dessa avaliação comparativa, viu-se que a produção de cerâmicos, principalmente de telhas e blocos, tem gerado menos impactos ambientais sobre o esgotamento de recursos naturais e alterações climáticas do que os produtos de concreto [2].

Nesse contexto, entende-se que a preocupação do setor industrial da cerâmica na busca por estratégias ou abordagens ambientais que melhorem os desempenhos produtivos tem mudado. Tem sido crescente o interesse na sustentabilidade, recorrendo a termos como a produção mais limpa (P+L), o controle de poluição, a ecoeficiência, a gestão ambiental, a responsabilidade social, a economia verde e a produção sustentável [6]. No entanto, o termo produção mais limpa (P+L) pode, sobretudo, ser aquele que melhor contribui para os anseios de uma produção de cerâmicos vermelhos mais sustentáveis. Isso se deve ao fato de, a priori, verificar-se que as técnicas de fim-de-tubo não mitigam nem reduzem desperdícios e resíduos na fonte. O termo P+L — que, a fim de evitar ou minimizar os riscos à saúde e ao meio ambiente, tem como intuito elevar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia por meio da não-geração de resíduos, bem como prevenir a poluição na fonte, isto é, ao longo de processos produtivos — foi definido pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), em 1989, como uma estratégia de resposta à abordagem de tratamento de fim-de-tubo, que visa tão somente ao tratamento da poluição antes de lançá-la ao meio ambiente, ou seja, no fim de processos [7].

No curso dos últimos anos, inúmeros artigos têm sido publicados tratando de abordagens ambientais, visando a reduzir custos com a eliminação de desperdícios e a desenvolver tecnologias limpas e acessíveis do ponto de vista econômico. Contudo, percebe-se que poucos têm sido os que discutem a implementação de técnicas de P+L no âmbito da indústria de cerâmica vermelha ou estrutural como uma abordagem sustentável. Por isso, enfatiza-se a pertinência deste estudo, uma vez que se debruça sobre a literatura existente acerca da produção mais limpa e da cerâmica vermelha, enfatizando os liames que dada relação teórico-conceitual pode trazer para a realidade concreta da indústria de cerâmica vermelha rumo a uma gestão de produção mais limpa.

Face às literaturas existentes e consultadas, coloca-se a seguinte questão como o problema da pesquisa: que contribuições a implementação da P+L pode trazer para a sustentabilidade da cerâmica vermelha? Nessa perspectiva, o presente estudo tem por objetivo analisar a literatura acerca dos temas produção mais limpa, sustentabilidade e cerâmica vermelha, almejando contribuir, por meio de elementos teórico-práticos, para o aprimoramento sustentável da produção desse ramo fabril. Além disso, objetiva desvendar lacunas e desafios para futuros estudos que envolvam as temáticas supracitadas. No que concerne à estrutura organizacional, este artigo, além desta introdução, possui as seguintes seções: *Materiais e Métodos*, *Referencial Teórico*, *Resultados e Discussão*, *Conclusões e Referências*.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo parte de uma pesquisa bibliográfica e documental [8], caracterizada como descritiva, à medida em que se realizou uma análise de várias obras literárias e de documentos nacionais e internacionais sobre os temas norteadores deste artigo: produção mais limpa (P+L), sustentabilidade e cerâmica vermelha. Para tanto, foram consultados livros de bibliotecas, manuais e relatórios em sites da internet e em artigos científicos, estes consultados a partir das bases de dados do portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

O levantamento de literatura que apresentou discussões sobre as principais contribuições da produção mais limpa (P+L) para a sustentabilidade da cerâmica vermelha foi realizado pela busca de assuntos no portal de periódicos da CAPES. As palavras-chave utilizadas para dado levantamento foram variadas entre estes termos: produção mais limpa, sustentabilidade, cerâmica vermelha, cerâmica estrutural, lodo de estação de tratamento de água, lodo de gemas, lodo galvânico, rejeito de rocha ornamental, cinza de bagaço de cana-de-açúcar, cinza de carvão mineral, queima rápida, chamote, resíduo de cerâmica vermelha, vidro, telha cerâmica, bloco cerâmico, resíduos, reciclagem, reúso, eficiência energética, argila e massa argilosa.

Após as buscas, selecionaram-se artigos publicados em revistas nacionais e internacionais entre os anos de 2011 e 2016 (até o final do primeiro semestre desse ano, ou seja, até o mês de junho), os quais foram fichados e analisados criticamente conforme os seguintes critérios:

- pesquisas aplicadas com finalidade, voltadas a resolver problemas concretos propondo soluções [8];
- pesquisas com propostas ou aplicações de técnicas que se alinhavam às definições de técnicas de P+L.

Em seguida, selecionaram-se 23 artigos que atenderam a tais critérios. Depois, identificaram-se as 6 classificações de técnicas de P+L propostas nos artigos, quais sejam: mudanças no produto (MP); boas práticas operacionais (BPO); mudanças de matérias-primas ou insumos (MPPI); mudanças tecnológicas de processo (MTP); reúso ou reciclagem interna (RRI); e reúso ou reciclagem externa (RRE). Logo após, elaborou-se um gráfico, Figura 3, para representar a distribuição percentual dessas classificações nos artigos. Posteriormente, na Tabela II, demonstraram-se os nomes dos autores dos 23 artigos elencados, assim como o ano de publicação, as técnicas de P+L propostas e suas respectivas classificações.

Por fim, os resultados de cada um dos artigos foram apresentados e discutidos conforme as classificações de técnicas de P+L neles contidas. A esse respeito, a discussão pautou-se nas técnicas de P+L propostas, classificando-as de acordo com seu nível de prioridade (redução de desperdícios na fonte, reciclagem interna e reciclagem externa) e seu foco (foco no produto, no processo ou no resíduo). Concomitantemente, problematizaram-se as contribuições dessas técnicas de P+L para a sustentabilidade da cerâmica vermelha.

REFERENCIAL TEÓRICO

Na presente seção, serão elucidadas as definições de produção mais limpa (P+L), de técnicas de P+L, sustentabilidade e suas características e, por fim, de cerâmica vermelha com suas respectivas etapas e processos produtivos.

Produção mais limpa (P+L)

A definição clássica de produção mais limpa (P+L) é apresentada como uma “aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva e integrada a processos, produtos ou serviços, para aumentar a eficiência e reduzir os riscos à saúde humana e ao meio ambiente” [9]. Essa definição — que surge em resposta à mudança de atitude que as organizações industriais têm de demonstrar na atualidade, no sentido de se buscarem práticas produtivas mais sustentáveis — tem sido utilizada para os programas relacionados à promoção da P+L e ainda permanece válida [10].

Nesta contemporaneidade, percebe-se que as tecnologias de fim-de-tubo não atendem mais aos anseios da sociedade na busca pela sustentabilidade. Abordagens ambientais convencionais que procuram atender às exigências ambientais legais, além de extremamente onerosas para as empresas do ponto de vista socioeconômico, deixam de ser percebidas como única alternativa para aprimorar o desempenho ambiental. As ações de fim-de-tubo são diferentes das de P+L (Tabela I). Ou seja, a primeira se dedica à solução do problema sem questioná-lo, enquanto a segunda conta com um estudo direcionado às causas da geração do resíduo e à sua compreensão.

Tabela I – Ações de fim-de-tubo versus ações de produção mais limpa.

[Table I - End-of-pipe actions versus cleaner production actions.]

FIM-DE-TUBO	PRODUÇÃO MAIS LIMPA
Pretende reação	Pretende ação
Os resíduos, os efluentes e as emissões são controlados através de equipamentos de tratamento	Prevenção da geração de resíduos, efluentes e emissões na fonte. Procurar evitar matérias-primas potencialmente tóxicas
Proteção ambiental é um assunto para especialistas competentes	Proteção ambiental é tarefa para todos
A proteção ambiental atua depois do desenvolvimento dos processos e produtos	A proteção ambiental atua como uma parte integrante do design do produto e da engenharia de processo
Os problemas ambientais são resolvidos a partir de um ponto de vista tecnológico	Os problemas ambientais são resolvidos em todos os níveis e em todos os campos
Não tem a preocupação com o uso eficiente de matérias-primas, água e energia	Uso eficiente de matérias-primas, água e energia
Leva a custos adicionais	Ajuda a reduzir custos

Fonte: SENAI [11].

Oliveira Filho [12] afirma que a solução tecnológica do tipo fim-de-tubo segue atrás dos prejuízos ambientais causados por um sistema produtivo, corrigindo os seus efeitos sem combater as causas que os produziram. Em sentido contrário, as técnicas de P+L contemplam mudanças nos produtos e processos produtivos a fim de reduzir ou eliminar todo tipo de rejeitos antes de sua geração.

Muitas têm sido as definições sobre o termo P+L, gerando ambiguidades e incongruências temáticas. O emprego desse termo pode configurá-lo como um processo, uma estratégia ou uma abordagem. Por exemplo, Hillary e Thorsen [13]

definem P+L como “o desenvolvimento de processos e produtos industriais com o objetivo de reduzir os resíduos, minimizando os riscos ao meio ambiente e fazendo uso eficiente dos recursos e matérias-primas”.

Vieira e Amaral [14], por sua vez, definem a P+L como um processo de melhoria contínua que visa ao uso eficiente dos recursos naturais, buscando evitar os impactos ambientais negativos dos processos, produtos ou serviços, gerando benefícios econômicos e mudança organizacional. Por outro lado, a P+L pode ser compreendida como “uma estratégia preventiva para minimizar o impacto da produção de produtos ao meio ambiente” [15].

Staniskis [16] ressalta que a P+L é uma estratégia de desenvolvimento e implementação de inovações preventivas, maximizando o uso eficiente de matéria-prima, energia e água, minimizando, assim, a geração de resíduos ou materiais nocivos.

Van Berkel [17] assinala que a P+L é “uma estratégia que gera oportunidades, buscando melhorias no que diz respeito às boas práticas operacionais, às entradas de materiais, aos equipamentos e tecnologia, no *design* de produto e na gestão de saídas de não-produtos”.

Glavic e Lukman [6] entendem que a P+L consiste em uma abordagem sistemática e organizada para as atividades de produção, que busca efeitos positivos sobre o meio ambiente por meio da minimização do uso de recursos, melhoria da ecoeficiência e da redução na fonte, gerando proteção ambiental e redução de riscos aos organismos vivos.

Nesse caso, os autores a classificam como uma abordagem ao invés de uma estratégia, tendo em vista que o segundo termo é semanticamente mais abrangente que o primeiro. As estratégias, no âmbito de termos de sustentabilidade, englobam, por exemplo, os termos ecologia industrial, Prevenção à Poluição (P2) e Sistemas de Gestão Ambiental (SGA). As abordagens, por outro lado, englobam termos menos abrangentes como controle da poluição, P+L, Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e *ecodesign* [6].

Assim, na ótica de Bass et al. [18], a P+L é uma abordagem na produção, que exige que as fases do ciclo de vida de um produto ou de um processo devem ser acompanhados com o objetivo de prevenir ou minimizar os riscos para os seres humanos e o meio ambiente.

Por conseguinte, Silva et al. [19] definem P+L como uma abordagem integrada e sistêmica que inclui mudanças organizacionais de produção e de processos em busca de uma melhoria contínua.

Portanto, considerando a definição consagrada de P+L da UNEP e as demais definições levantadas na revisão de literatura, permite-se afirmar que, no contexto da produção da cerâmica vermelha, a P+L pode ser considerada uma abordagem preventiva e integrada a processos e produtos que visa ao uso eficiente de insumos e à redução de desperdícios, podendo gerar benefícios socioeconômicos e ambientais.

Com base nisso, destaca-se que ambiguidades e incongruência também ocorrem no tocante ao uso do termo técnicas de P+L, cujas definições serão discutidas na seção seguinte.

Técnicas de produção mais limpa (P+L)

Técnicas de P+L são um conjunto de meios para atingir os objetivos da P+L [20, 21, 9, 11]. Outros termos como princípios [22], opções [18, 15, 23, 24, 25] e práticas [20, 17], são geralmente encontrados na literatura e nos manuais de orientações sobre P+L com essa definição. No entanto, neste artigo, o termo “técnicas de P+L” vem sendo adotado porque, semanticamente, é mais apropriado, visto que uma técnica é um conjunto de processos baseado em conhecimentos científicos utilizados para obter certo resultado [26].

Para alguns autores [9, 25, 22, 20], existem 5 categorias ou classificações de técnicas de P+L, quais sejam: mudanças no produto, boas práticas operacionais, mudanças de matérias-primas ou insumos, mudanças tecnológicas de processo e reúso ou reciclagem interna, isto é, reúso ou reciclagem dentro do processo industrial.

Já para outros [11, 27, 23], além dessas 5 classificações, há mais uma: o reúso ou reciclagem fora do processo industrial. A reciclagem fora do processo industrial tem sido adotada como uma técnica de P+L em virtude de alguns países, como é o caso do Brasil, terem demonstrado potencial para a reciclagem, bem como a existência de pessoas que dependem dessa prática [23]. Portanto, neste artigo, entende-se, em dissonância com os autores citados, que existem 6 classificações de técnicas de P+L:

- **mudanças no produto:** consistem em mudanças de projeto (forma ou design) ou composição de um produto com o objetivo de expandir sua vida útil, facilitar sua reparação e amenizar seu prejuízo ao meio ambiente durante todo o seu ciclo de vida: desde a extração da matéria-prima até a sua disposição final [28, 11];
- **boas práticas operacionais:** consistem em mudanças operacionais, de procedimentos, de gestão em uma organização para reduzir desperdícios. Boas práticas operacionais podem frequentemente ser implementadas a baixo custo e em todos os setores de uma organização, incluindo melhorias de logística de compra, de estocagem, e de distribuição de matéria-prima e materiais auxiliares; mudanças na dosagem de matéria-prima; elaboração de manuais de boas práticas operacionais e; treinamento de pessoas [11];
- **mudanças de matérias-primas ou insumos:** consistem em mudanças que buscam eliminar ou reduzir a entrada de matéria-prima e insumos perigosos, bem como evitar a entrada de materiais não perigosos, mas que geram resíduos perigosos no processo. Também podem ser mudanças que objetivam a reciclagem de resíduos de outras indústrias como matéria-prima, uso de matéria-prima biodegradável ou com o tempo de vida útil mais longo [28, 11];

- **mudanças tecnológicas de processos:** consistem em mudanças tecnológicas de processo ou de equipamentos para reduzir os desperdícios na produção. Podem variar desde mudanças menores, implementadas em questão de dias com baixo custo, até a substituição de processos que envolvam grandes custos [11];
- **reúso ou reciclagem interna:** consiste no retorno dentro do processo industrial, com ou sem tratamento, de um material residual, ou para o processo que o originou ou para outro processo, como material de entrada ou outra utilização na própria organização [11, 23];
- **reúso ou reciclagem externa:** consiste no uso de um material residual, com ou sem tratamento, para outro processo industrial fora da organização [23];

As técnicas de P+L podem ser classificadas também, quanto aos seus meios de ação, em 3 níveis de prioridade. O primeiro se refere à redução na fonte, ou seja, contempla técnicas que visam a reduzir os desperdícios na fonte, a saber: mudanças no produto, boas práticas operacionais, mudanças de matérias-primas ou insumos e mudanças tecnológicas de processos. O segundo se refere à reciclagem interna por meio da técnica de reúso ou reciclagem interna. Por fim, quando não é possível adotar técnicas de níveis 1 ou 2, deve-se optar pelo terceiro nível, a reciclagem externa por meio do reúso ou reciclagem externa [11];

Na fabricação de produtos, as técnicas de P+L podem ter 3 focos: foco no produto, no processo ou no resíduo. Para o produto, podem ser adotadas as técnicas de mudanças no produto; para o processo, as técnicas de boas práticas operacionais, de mudanças de matérias-primas ou insumos, de mudanças tecnológicas de processos e de reúso ou reciclagem interna; e para o resíduo, pode ser adotada a técnica de reúso ou reciclagem externa.

Para maior apropriação da aplicação das técnicas de P+L, seus níveis de prioridades e seus focos, tem-se, na Figura 1, a representação dessas técnicas aplicadas a um determinado processo produtivo, ilustrando a distinção entre as orientações das técnicas de P+L em detrimento do controle da poluição (tratamento de fim-de-tubo).

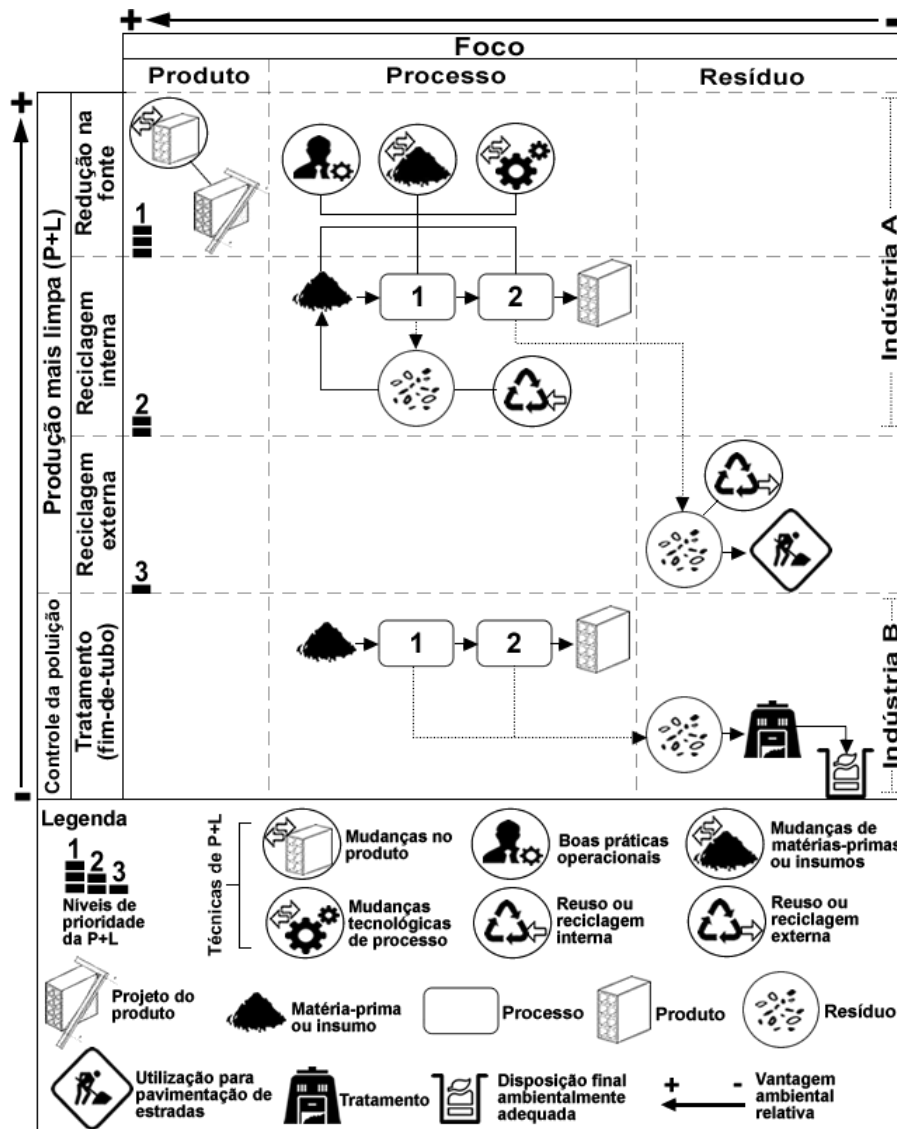


Figura 1 – Aplicação de técnicas de P+L em processos produtivos

[Figure 1 – CP application techniques in the productive processes.]

Fonte: elaborado pelos próprios autores adaptado de Gasi e Ferreira [23] e SENAI [11].

A Figura 1 apresenta as principais técnicas de P+L aplicadas na indústria A. Essas técnicas são orientadas para a prevenção de resíduos (sólidos, líquidos e gasosos), priorizando sua redução na fonte desde a concepção do projeto (forma ou design) do produto até os processos produtivos. Por outro lado, na indústria B, é aplicado o tratamento de fim-de-tubo ao controle da poluição, orientado a se preocupar, somente, com o tratamento de resíduos gerados nos processos e sua disposição final adequada no meio ambiente. Em suma, a vantagem ambiental relativa será maior à medida em que são adotadas técnicas de P+L voltadas para reduzir os desperdícios na fonte com foco no processo e, sobretudo, com foco no projeto do produto, tendo em vista que esse último pode ser considerado a maneira mais preventiva de evitar ou reduzir desperdícios e resíduos ao longo do ciclo de vida de um produto.

Entende-se, portanto, que a aplicação de P+L, em qualquer organização industrial, a exemplo da indústria de cerâmica vermelha, tem como intuito, sobretudo, buscar a sustentabilidade do processo produtivo, focando-se no uso de técnicas que sigam uma produção mais limpa. Assim, faz-se necessário discutir o termo sustentabilidade na próxima seção.

Sustentabilidade

A palavra sustentabilidade, originária do latim *sustentare*, significa sustentar, suportar, conservar em bom estado, manter, resistir. Sendo assim, tudo aquilo que seja capaz de ser suportado ou mantido é considerado sustentável [29]. Na atualidade, é crescente o uso do termo sustentabilidade devido ao aumento da consciência sobre a sua importância. Contudo, existem várias definições, abordagens (conforme o campo de aplicação), equívocos e mal-entendidos que rodeiam esse termo [6, 30]. Este artigo não entrará no mérito de discutir tais problemas, mas apresentará uma definição para o termo e suas principais características.

O termo sustentabilidade pode ser definido como uma relação dinâmica entre o sistema econômico e o sistema ecológico — que é maior e com taxa de mudanças mais lenta — em que a vida humana pode continuar indefinidamente a se desenvolver culturalmente desde que os efeitos desse desenvolvimento permaneçam dentro de certos limites. Para tanto, deve-se assegurar a diversidade, a complexidade e a função do sistema de suporte de vida ecológico [31]. Em consequência disso, tal definição pressupõe que para ocorrer o desenvolvimento e o bem-estar das presentes e futuras gerações, é fundamental assegurar as condições que suportam a vida no planeta.

As técnicas de produção mais limpa (P+L), já discutidas neste trabalho, podem otimizar o uso de recursos em todos os componentes do sistema de produção e em todo o ciclo de vida do produto, contribuindo para atingir a sustentabilidade de um sistema. Três princípios sustentáveis fundamentais destacam claramente o papel da P+L para a sustentabilidade: a sustentabilidade é obtida por meio da minimização dos desperdícios; a melhoria da qualidade da produção ajuda a aumentar a sustentabilidade; e a sustentabilidade é mais facilmente alcançada implementando melhores sistemas [32].

A sustentabilidade de qualquer sistema, como o da indústria de cerâmica vermelha, pode apresentar características fundamentais, que serão elencadas a seguir.

Características da sustentabilidade

Pode-se dizer que a sustentabilidade apresenta 7 características principais. A primeira se refere ao seu objetivo fundamental, que é repassar para as gerações futuras um estoque de capital (natural, cultural, manufaturado e cultivado) que seja pelo menos tão grande quanto ao que nossa própria geração herdou das gerações anteriores [33].

A segunda é que a sustentabilidade é multidimensional, ou seja, integra, ao menos, as dimensões econômica, ambiental e social [30]. A dimensão econômica é a manutenção de capital natural, uma condição fundamental para não haver decréscimo econômico. A dimensão ambiental é a desmaterialização da atividade econômica, uma vez que a diminuição do processamento de material pode reduzir a pressão sobre os sistemas naturais e ampliar a prestação de serviços ambientais [34]. A dimensão social é a homogeneidade social, rendimentos justos e acesso a bens, serviços e emprego [35].

A terceira é de que a sustentabilidade é um princípio aplicável a sistemas como os sistemas industriais (transporte, produção, energia), os sistemas sociais (urbanização, mobilidade, comunicação) e os sistemas naturais (solo, atmosfera, sistemas aquáticos e bióticos), incluindo os fluxos de informações, bens, materiais e resíduos. Portanto, a sustentabilidade envolve uma interação com sistemas dinâmicos que estão em constante mudança e necessitam de medidas proativas [30].

A quarta é que a sustentabilidade pode ocorrer em vários níveis territoriais, ou seja, local, regional e global, pois o que pode ser considerado sustentável em nível local não é necessariamente em nível regional, por exemplo [30].

A quinta é a relação de causalidade entre as dimensões, isto é, uma melhoria (ou pioria) no desempenho de uma dimensão pode levar a mudanças em outras dimensões e vice-versa [30].

A sexta é que a sustentabilidade é avaliada por meio de sistemas de indicadores e índices que são distribuídos nas dimensões econômica, ambiental e social, por exemplo [30].

A sétima, por fim, é que a avaliação de sustentabilidade é sempre comparativa e pode ser de duas formas: comparação de um sistema com outro(s) ou comparação de um sistema com ele mesmo, também chamado de *per se* [36].

Por exemplo, a avaliação de sustentabilidade comparativa com outro sistema ocorre quando se pretende avaliar se é mais sustentável a produção de telha cerâmica na empresa X ou a produção de telha cerâmica na empresa Y. O resultado será que a produção de telha cerâmica na empresa X é mais sustentável que a da empresa Y com base em um valor mensurado pelos sistemas de indicadores ou índices escolhidos para realizar tal avaliação num determinado tempo.

Já uma avaliação de sustentabilidade *per se*, ocorre quando se pretende avaliar se é sustentável a produção de telha cerâmica na empresa X. O resultado será sim ou não, com base em um valor mensurado pelos sistemas de indicadores ou índices escolhidos para realizar tal avaliação em um determinado tempo. Na avaliação *per se*, o fator tempo é fundamental

para estabelecer um ponto de comparação, pois quando se compara um sistema com ele mesmo, a única forma de fazê-lo é pelo tempo [36].

A propósito, a cerâmica vermelha, objeto de estudo deste artigo, terá sua definição, etapas e processos produtivos apresentados na seção a seguir.

Cerâmica vermelha

A palavra cerâmica, originária do grego “kerameikos” (feito de terra), pode ser definida tecnicamente como qualquer produto obtido pela mistura, moldagem e queima de matérias-primas minerais com características e propriedades específicas adequadas à fabricação do produto desejado [37]. Cerâmica vermelha é o termo usado para designar produtos caracterizados pela coloração avermelhada ocorrida após o processo de queima, nos quais incluem-se os materiais para construção como blocos cerâmicos de vedação e estruturais, telhas, manilhas, tabelas e lajotas [37].

A indústria de cerâmica vermelha integra o ramo de produtos do setor de transformação de não metálicos, junto com outras indústrias, cuja boa parte está ligada diretamente à cadeia produtiva da construção civil, como a indústria do cimento, a da cerâmica de revestimento, a de louças sanitárias e de mesa, a de vidro, a da cal e a do gesso [3].

A sustentabilidade na indústria de cerâmica vermelha pode ser melhor compreendida por meio da descrição de suas etapas e de seus processos produtivos, bem como dos insumos utilizados ao longo desses processos, conforme será apresentado a seguir [38].

Etapas e processos produtivos da cerâmica vermelha

O processo produtivo da cerâmica vermelha se inicia com a extração da argila na jazida. A argila é um mineral natural, terroso e de granulometria fina (0,002 mm), que, quando misturado à água, adquire certa plasticidade, quando seca, endurece e, quando cozida, enrijece, sendo de difícil desagregação por simples pressão de pequena intensidade [5].

Após a extração da argila na jazida de seu transporte e estocagem na indústria de cerâmica vermelha, 3 etapas seguintes estão sempre presentes na fabricação de produtos cerâmicos vermelhos: a preparação da matéria-prima, a conformação (ou moldagem) e o tratamento térmico [39].

A Figura 2 demonstra, de um modo geral, as etapas e os processos produtivos de uma indústria de cerâmica vermelha.

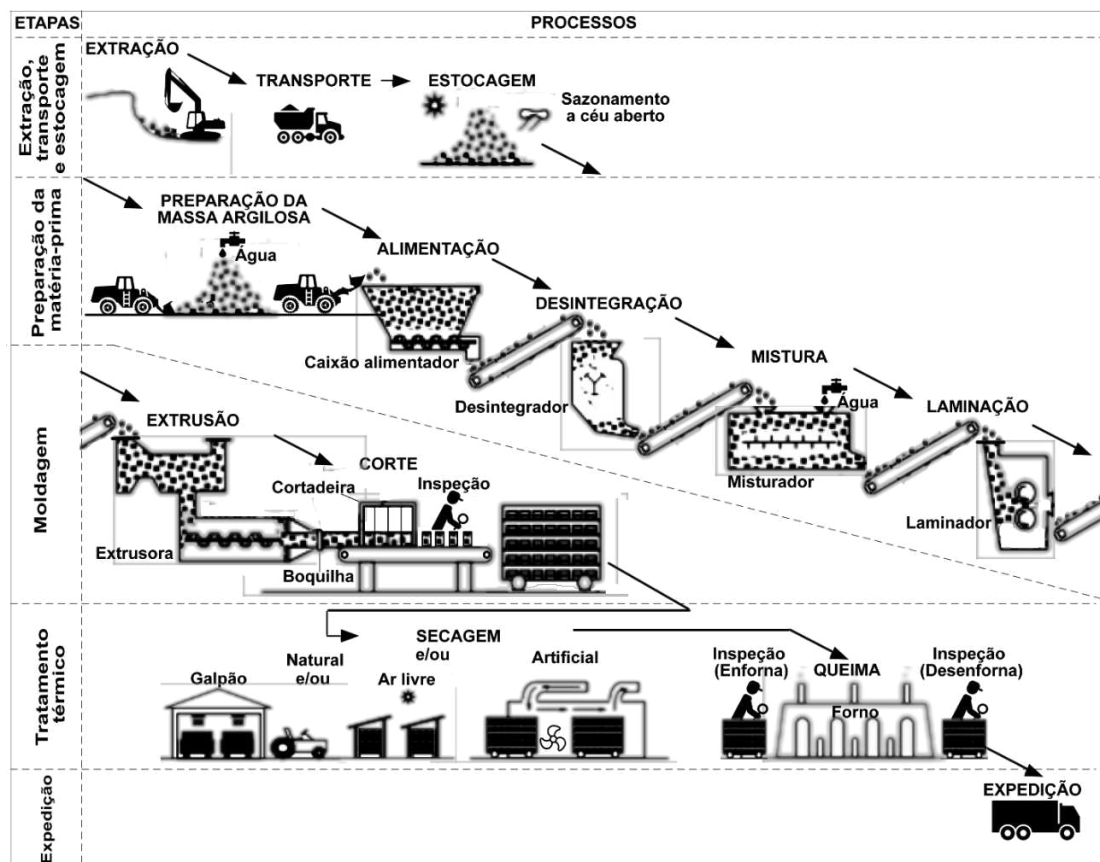


Figura 2 – Etapas e processos produtivos da cerâmica vermelha.

[Figure 2 – Stages and processes of the red ceramic.]

Fonte: adaptado de Silva et al.[4].

Na etapa de preparação da matéria-prima são realizados os seguintes processos:

preparação da massa argilosa: separação das argilas estocadas e sazoadas, formando-se montes, em que serão misturadas entre si com água [40];

alimentação: uso de um caixão alimentador para uniformizar a massa argilosa e abastecer os processos seguintes da produção [37];

desintegração: processo no qual ocorre o destorroamento ou a trituração de grandes torrões de argilas compactas, visando reduzi-los ao tamanho máximo de 20mm [37];

mistura: uso de um misturador para corrigir a umidade da massa argilosa, misturando o material com água por meio de eixos giratórios horizontais dotados de pás ou fâcas [37, 5];

laminação: uso de um laminador para estirar a massa argilosa por meio de 2 cilindros que giram em rotações diferentes, formando pedaços laminados dessa massa [5].

Na etapa de moldagem, por sua vez, são realizados os processos de:

extrusão: uso de uma extrusora ou maromba a vácuo para retirar o ar da massa argilosa e, em seguida, extrusá-lo por meio de um parafuso em que o material é forçado contra um molde ou boquilha, resultando em uma coluna de material no formato e nas dimensões da boquilha escolhida [37];

corte: uso de cortadeira manual ou automática que, por meio de uma mesa de rolar com um dispositivo com um fino arame de corte, corta a coluna da massa argilosa na dimensão desejada, resultando em peças cruas. Quando na produção de telhas, após esse processo, as peças cruas são encaminhadas para prensagem, responsável pela moldagem no formato côncavo [37].

Por fim, na etapa de tratamento térmico, são realizados os processos de:

secagem: é a eliminação de água da peça crua por evaporação com a ajuda do vento e do calor, pode ser natural ou artificial. A natural consiste na exposição das peças cruas ao vento e ao calor ambiente, seja ao ar livre, em galpões ou estufas. A artificial consiste na exposição das peças cruas dentro de uma estufa, ao vento de ventiladores (estáticos ou autoviajantes) e ao calor recuperado do forno. Pode ser estática, quando as peças ficam paradas, e contínua, quando as peças se movimentam à medida em que elas são inseridas úmidas numa extremidade e retiradas secas na outra, onde é mais quente e seco [5];

queima: é a disposição das peças secas em fornos intermitentes (por exemplo: Paulista e Caipira) ou contínuos (Hoffman e Túnel) a uma certa temperatura (entre 800°C e 1000°C) para adquirirem as propriedades físico-químicas necessárias para o estado final do produto. Na atualidade, os combustíveis que têm sido mais usados nesse processo são biomassas vegetais, tais como lenha, pó de serragem, bagaço de cana, casca de arroz e casca de coco [5]. Contudo, algumas indústrias têm usado combustíveis fósseis como o óleo combustível, o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) e o Gás Natural (GN) [41].

Em suma, observa-se que o processo produtivo da cerâmica vermelha possui um consumo relevante de recursos naturais e energéticos. Estima-se que no Brasil aproximadamente 141,6 milhões de toneladas de argila são consumidos por ano e o consumo de energia elétrica tem variado de 25 a 45 kWh por tonelada de argila [3, 42]. Quanto ao consumo anual de biomassa vegetal, este tem sido estimado em 36,6 milhões de m³ [43]. Além do elevado consumo de recursos naturais, a geração de resíduos e desperdícios também têm conferido emergência ao debate da sustentabilidade na indústria de cerâmica vermelha [38]. Tal segmento industrial ainda tem apresentado alguns problemas como os desperdícios de argila, de água, de energia elétrica e de biomassa vegetal, como pode ser constatado em alguns estudos de Grigoletti e Sattler [44], Almeida et al. [45], Maciel e Freitas [46] e Moraes et al. [47].

Portanto, faz-se necessário analisar a literatura acerca dos temas produção mais limpa, sustentabilidade e cerâmica vermelha, almejando contribuir, por meio de elementos teórico-práticos, para o aprimoramento sustentável da produção desse ramo fabril, bem como desvendar lacunas e desafios para futuros estudos que envolvam as temáticas supracitadas, o que será apresentado a seguir.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da literatura levantada e analisada, os resultados obtidos demonstram, a priori, que se torna imperioso, nos dias atuais, para as organizações industriais e, em especial, para o ramo industrial da cerâmica vermelha, apropriar-se dos conhecimentos e dos contributos gerados pela aplicação de técnicas de P+L, já que se tem como primordial preocupação ações que promovam a sustentabilidade.

Para este estudo, levantaram-se os artigos que realizaram pesquisas aplicadas sobre contribuições da produção mais limpa (P+L) para a sustentabilidade da cerâmica vermelha nos últimos 5 anos, obtendo-se um total de 23.

Em todos os artigos, constatou-se, conforme o gráfico da Figura 3, que, das 6 classificações de técnicas de P+L, a grande maioria (57%) foi de mudanças de matéria-prima ou insumo (MMPI).

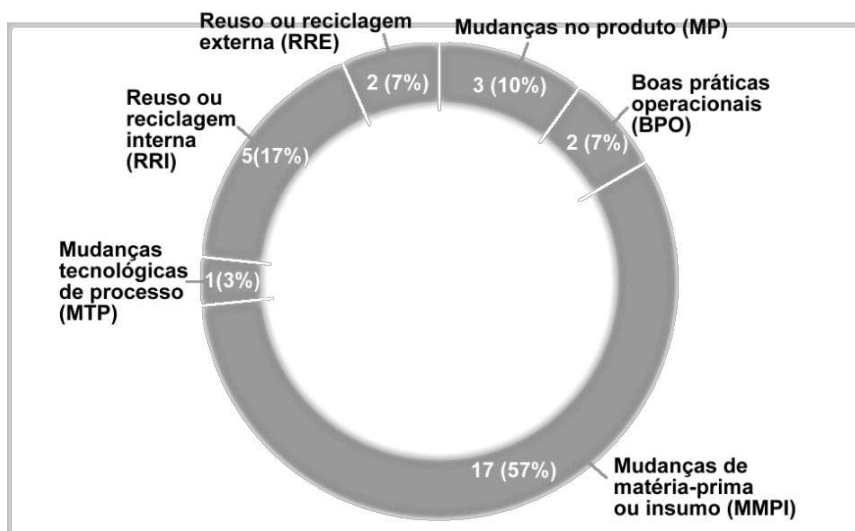


Figura 3 – Gráfico da distribuição de classificações de técnicas de P+L nos artigos

[Figure 3 – Ratings distribution graph of CP techniques in articles.]

Fonte: elaborado pelos próprios autores.

O restante das classificações de técnicas de P+L ficou distribuído da seguinte forma: 17% para reuso ou reciclagem interna (RRI), 10% para mudanças no produto (MP), 7% para boas práticas operacionais (BPO), 7% para reuso ou reciclagem externa (RRE) e, finalmente, 3% para mudanças tecnológicas de processo (MTP).

Na Tabela II, apresentam-se os nomes dos autores, o ano da publicação, a técnica de P+L proposta e suas classificações.

Tabela II – Técnicas de produção mais limpa (P+L) e suas classificações propostas nos artigos pesquisados.
 [Table II - Cleaner production (CP) techniques and their classifications proposed in the researched articles.]

	Autor	Ano	Técnica de produção mais limpa (P+L) proposta	Classificação da técnica de P+L*
1	Teixeira et al. [48]	2011	Incorporação de lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) à massa argilosa para fabricação de blocos de vedação	MMPI
2	Tartari et al. [49]	2011	Incorporação de lodo de ETA à massa argilosa	MMPI
3	Teloeken et al. [50]	2011	Incorporação de lodo galvânico, de vidro sodocálcico (de embalagens de bebidas) e de vidro borossilicato (recipientes de laboratório) na massa argilosa	MMPI
4	Pedroti et al. [51]	2011	Fabricação de blocos estruturais prensados e queimados de encaixe (macho e fêmea)	MP
5	Saleiro e Holanda [52]	2012	Processamento de cerâmica vermelha usando ciclo de queima rápida	BPO
6	Bruxel et al. [53]	2012	Incorporação de lodo gerado na serra de corte de gemas (ametista e ágata) na massa argilosa	MMPI
7	Rodrigues et al. [54]	2012	Incorporação de rejeito de rocha ornamental (granito e mármore) isento de granelha, oriundo de tear de fio diamantado, na massa argilosa	MMPI
8	Fernandes et al. [55]	2012	Diminuição da rugosidade da superfície de telha cerâmica com incorporação de chamote à massa argilosa	RRI e MMPI
9	Maciel e Freitas [46]	2013	Análise da qualidade da argila na jazida; reúso de Resíduos de Cerâmica Vermelha (RCV) no próprio processo produtivo; uso de peneiras com menor abertura para evitar a passagem de impurezas na extrusão; manutenção de máquinas e equipamentos como a boquilha; treinamento de mão-de-obra; e reúso do calor do forno para secagem artificial de telhas	BPO, RRI, MMPI
10	Faria e Holanda [56]	2013	Incorporação de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar à massa argilosa	MMPI
11	Taguchi et al. [57]	2014	Incorporação de rejeito de rocha ornamental, oriundo de tear de fio diamantado, à massa argilosa	MMPI
12	Nandi et al. [58]	2014	Incorporação de vidro de lâmpadas fluorescentes descontaminadas à massa argilosa	MMPI
13	Pinheiro, Estevão e Souza [59]	2014	Incorporação de lodo de ETA à massa argilosa	MMPI
14	Wolff, Schwabe e Conceição [60]	2014	Fabricação de blocos estruturais com lodo de ETA de uma indústria de papel e celulose misturado com granito triturado	MP
15	Garcia et al. [61]	2014	Reúso de RCV como material pozolânico na indústria de cimento Portland	RRE
16	Landolfo et al. [62]	2014	Incorporação de RCV como substituto do agregado natural de rocha granítica e calcária na produção de concreto de cimento Portland	RRE
17	Zaccaron et al. [63]	2014	Incorporação de chamote à massa argilosa para fabricação de blocos de vedação	RRI e MMPI
18	Rosso et al. [64]	2014	Reúso de RCV e polímeros recicláveis, como o politereftalato de etileno (PET), o polipropileno (PP) e o poliestireno (PS) para formação de um compósito cerâmico-polímero, a fim de fabricar telhas cerâmicas com a eliminação do processo de queima	RRI, MMPI e MP
19	Zaccaron et al. [65]	2015	Incorporação de resíduo de beneficiamento de carvão mineral à massa argilosa para fabricação de blocos de vedação	MMPI
20	Nandi et al. [66]	2015	Construção de novas fornalhas e portas de visibilidade, bem como o isolamento térmico da zona de queima com mantas térmicas em forno túnel	MTP
21	Mendes, Morales e Reis [67]	2016	Incorporação de resíduos de basalto à massa argilosa	MMPI
22	Carreiro et al. [68]	2016	Incorporação de resíduo de quartzito à massa argilosa	MMPI
23	Oliveira et al. [69]	2016	Reutilização de chamote de telhas à massa argilosa para fabricação de blocos de vedação	RRI e MMPI

*Legenda da classificação de técnicas de P+L: mudanças no produto (MP); boas práticas operacionais (BPO); mudanças de matérias-primas ou insumos (MPPI); mudanças tecnológicas de processo (MTP); reúso ou reciclagem interna (RRI); e reúso ou reciclagem externa (RRE). Fonte: elaborado pelos próprios autores.

Para uma compreensão mais verticalizada dos resultados dos artigos, as próximas seções foram apresentadas e discutidas conforme as classificações de técnicas de P+L neles propostas. Para tal, a discussão pautou-se nas técnicas de P+L propostas, classificando-as de acordo com seu nível de prioridade (redução de desperdícios na fonte, reciclagem interna e reciclagem externa) e seu foco (foco no produto, no processo ou no resíduo). Concomitantemente, discutiram-se as contribuições dessas técnicas de P+L para a sustentabilidade da cerâmica vermelha. Por fim, foram apresentados e discutidos as lacunas e os desafios na busca de contribuições para futuros estudos sobre as temáticas em questão.

Mudanças de matérias-primas ou insumos (MMPI)

Teixeira et al. [48] assinalam que a incorporação de 10% de lodo de ETA na massa argilosa permite a fabricação de blocos de vedação a temperaturas de queima abaixo de 1000°C e que, acima dessa temperatura, até 20% de lodo de ETA pode ser incorporado à massa, o que permite também a fabricação de telhas em conformidade com as normas técnicas brasileiras desses produtos.

Tartari et al. [49], por sua vez, apontam que, para blocos estruturais de 6 furos extrusados, 8% é o máximo de lodo de ETA a ser incorporado na massa argilosa para estar em conformidade com a norma técnica desse produto.

Pinheiro, Estevão e Souza [59] pontuam que, do ponto de vista mineralógico, químico e físico, o lodo de ETA atende às normas técnicas de produtos cerâmicos e que tal resíduo pode ser incorporado às massas argilosas em quantidades moderadas devido ao seu elevado valor de limite plástico.

Teloeken et al. [50] concluíram que a incorporação de lodo galvânico, de vidro sodocálcico (de embalagens de bebidas) e de vidro borossilicato (recipientes de laboratório) para a fabricação de blocos e telhas cerâmicas obtiveram melhores resultados com as seguintes medidas: 15% de lodo galvânico mais 15% de vidro borossilicato incorporados à massa argilosa. Quanto aos ensaios de lixiviação (para identificar elementos perigosos conforme à sua toxicidade), nenhum dos corpos cerâmicos ultrapassou os limites de Pb, Cd e Cr. Entretanto, as formulações com vidro borossilicato e lodo galvânico apresentaram menores valores de lixiviação somente para o Cr, enquanto as formulações com vidro sodocálcico e lodo galvânico apresentaram os menores valores de lixiviação nos resultados para os elementos Pb e Cd [50].

Bruxel et al. [53] investigaram a incorporação de lodo gerado na serra de corte de gemas como ametista e ágata à massa argilosa. Concluíram que até 5% desse lodo pode ser incorporado à massa. Quantidades superiores a esse percentual ficaram fora dos padrões estabelecidos pelas normas técnicas de produtos cerâmicos [53].

Rodrigues et al. [54] avaliaram a incorporação de rejeito de rocha ornamental isento de granalha, oriundo de tear de fio diamantado, à massa argilosa e concluíram que a adição de 10% desse rejeito, sob condições de queima a 900 °C, é o mais indicado para uso em cerâmica vermelha.

Já no estudo de Taguchi et al. [57], os resultados mostraram que podem ser incorporados 20%, 40% e 60% de rejeito de rocha ornamental à massa argilosa, sob condições de queima a 1000°C, para fabricação de telhas e blocos de cerâmica vermelha estrutural, pois as amostras apresentaram propriedades tecnológicas superiores ao indicado pelas normas técnicas desses produtos. A incorporação de 60% de rocha ornamental é aquela que mais favorece a mitigação de impactos ambientais gerados pelas indústrias de rochas ornamentais, levando em consideração que esse percentual possui uma quantidade maior de resíduo incorporado sem alterar as propriedades tecnológicas de forma significativa [57].

Carreiro et al. [68], no estudo de incorporação de resíduo de quartzo em uma massa argilosa para a produção de peças de cerâmica vermelha, concluíram que até 15% desse resíduo pode ser incorporado, sob condições de queima a 1000 °C, com melhoria nas propriedades físicas e mecânicas sem alteração de cor. Os resultados também demonstraram que os resíduos e as massas foram classificadas como não perigosos, sendo o resíduo pertencente à Classe II A – não inerte e as massas pertencentes à Classe II B – inerte [68].

Nandi et al. [58], ao estudarem a incorporação de vidro de lâmpadas fluorescentes descontaminadas à massa argilosa, concluíram que formulações com teor de 7 a 12% desse resíduo se mostraram satisfatórias quando comparadas a padrões de normatização técnica de telhas e blocos cerâmicos. Sendo assim, os resultados demonstraram a possibilidade de incorporação de vidro de lâmpadas fluorescentes descontaminadas no processo de fabricação de cerâmica vermelha, atuando como uma alternativa para minimizar o impacto ambiental gerado pelo acúmulo desse resíduo [58].

Faria e Holanda [56] concluíram que a incorporação de até 10% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar à massa argilosa atende aos padrões das normas técnicas para a fabricação de blocos e telhas de cerâmica vermelha, o que pode contribuir para reduzir os impactos ambientais causados pela indústria da cana.

Mendes, Morales e Reis [67] incorporaram resíduos de basalto (pó de basalto) à massa argilosa e concluíram que tal resíduo contribui para redução das retrações nos processos de secagem e queima. Além disso, eles destacaram que propriedades tecnológicas, tais como densidade, absorção de água e desempenho mecânico, não são significativamente afetadas pelo uso de pó de basalto como matéria-prima incorporada à massa [67].

Zaccaron et al. [65] incorporaram resíduo de beneficiamento de carvão mineral à massa argilosa para fabricação de blocos de vedação e concluíram que a massa argilosa apresentou boa plasticidade de conformação, devido, principalmente, ao tamanho da partícula e ao próprio excesso de matéria orgânica, além de um comportamento térmico satisfatório. Assim, o efeito fundente na massa argilosa, o aumento de plasticidade verificado nas etapas de conformação e o enquadramento das propriedades físicas e mecânicas na norma técnica viabilizam o uso de resíduo de carvão mineral como matéria-prima na fabricação de cerâmica vermelha [65].

Nesse contexto, entende-se que as técnicas citadas pelos autores são classificadas como MMPI, pois buscam a reciclagem de resíduos oriundos de outros processos produtivos como matéria-prima para os processos da cerâmica

vermelha. Essas técnicas visam à redução de desperdícios na fonte, o nível mais prioritário da P+L, com foco no processo produtivo da cerâmica vermelha.

A reciclagem desses resíduos ajuda a evitar a sua disposição inadequada no meio ambiente, prevenindo a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, do solo e do ar, tendo em vista que alguns desses resíduos são considerados perigosos, isto é, que oferecem riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Portanto, essas técnicas contribuem para a sustentabilidade da cerâmica vermelha, pois, além de evitarem danos à saúde pública e ao meio ambiente pela disposição inadequada de resíduos, ajudam a reduzir custos de produção e, sobretudo, o uso de argila, aumentando o tempo de vida útil das jazidas desse recurso natural.

Mudanças no produto (MP)

Pedroti et al. [51] concluíram que a fabricação de blocos estruturais prensados e queimados de encaixe (macho e fêmea) atenderam a parâmetros físicos, químicos e mecânicos para serem utilizados como alternativa em edificações na construção civil. A fabricação desse produto prensado elimina grande parte de desperdícios comparados com o processo de extrusão, pois os blocos prensados possuem baixa umidade, o que elimina o processo de secagem. Nos canteiros de obra, o benefício fica por conta do sistema de encaixe, similar ao tradicional usado em bloco de solo-cimento, e ainda podem ser usados como blocos estruturais [51].

Wolff, Schwabe e Conceição [60] apontaram que o lodo de ETA de uma indústria de papel e celulose misturado com o granito triturado pode ser utilizado como um substituto para a argila, devendo ser testado na indústria de cerâmica vermelha em escala piloto, a fim de avaliar a sua aptidão para a fabricação de revestimentos interiores e blocos estruturais. A reciclagem desses resíduos pode ser tecnicamente e economicamente viável, além de ambientalmente atraente, pois permite uma destinação ambientalmente adequada dos resíduos, além de contribuir para a fabricação de produtos com maior resistência mecânica e de reduzir o uso de recursos naturais, como argila e água [60].

Diante disso, pode-se dizer que as técnicas propostas pelos autores são de MP porque buscam trazer mudanças ao projeto (forma ou design) ou à composição do produto, com o objetivo de reduzir os seus impactos ao longo do seu ciclo de vida. Essas técnicas visam à redução de desperdícios na fonte com foco no produto da cerâmica vermelha.

Portanto, a contribuição dessas técnicas para a sustentabilidade da cerâmica vermelha consiste na redução de custos de produção em consequência da redução do uso de água, de energia, de combustíveis e, principalmente, de argila, ao substituir tal matéria-prima por resíduos ou ao minimizar seu desperdício, o que aumenta o tempo de vida útil das jazidas de dado recurso natural.

Boas práticas operacionais (BPO)

Saleiro e Holanda [52] comprovaram que o processamento de cerâmica vermelha em ciclos de queima rápida (10 °C/min e 20 °C/min), entre 700 e 1100 °C, obtém, para telhas e blocos cerâmicos, propriedades tecnológicas e microestrutura comparáveis àquelas convencionalmente obtidas via queima lenta (1°C/min). O ciclo de queima rápida pode ser viável nos âmbitos econômico e técnico, além de trazer benefícios ambientais como a economia de combustível e de energia [52].

Por conseguinte, entende-se que tal técnica é uma BPO, uma vez que consiste em trazer mudança operacional no processo de queima para reduzir desperdícios de combustível e de energia. Essa técnica visa, com foco no processo produtivo da cerâmica vermelha, à redução de desperdícios na fonte.

Logo, essa técnica contribui para a sustentabilidade da cerâmica vermelha, à medida em que reduz o uso de combustível e energia no processo de queima, acarretando na redução do uso de recursos naturais (como a cobertura vegetal que fornece a lenha) e de custos de produção.

Boas práticas operacionais (BPO), reúso ou reciclagem interna (RRI) e mudanças de matérias-primas ou insumos

Maciel e Freitas [46] constataram que os processos de queima, de estocagem de produto acabado e de expedição são os que geram o maior volume de RCV não reciclados ou retrabalhados (telhas e blocos quebrados ou defeituosos) na cerâmica vermelha investigada por esses autores. As causas desses problemas decorrem da ausência de técnicas de P+L nos processos produtivos. Sendo assim, uma série de técnicas de P+L podem ser propostas, como: análise da qualidade da argila na jazida (BPO); reúso ou reciclagem de RCV, como o chamote, no próprio processo produtivo (RRI e MMPI); uso de peneiras com menor abertura para evitar a passagem de impurezas no processo de extrusão (BPO); manutenção preventiva das máquinas (BPO); treinamento para os funcionários (BPO) e aproveitamento do calor do forno para secagem artificial de telhas (RRI) [46].

Diante disso, classificam-se as técnicas propostas pelos autores como BPO, RRI e MMPI, tendo em vista que buscam trazer mudanças operacionais, treinamento para os funcionários, reúso ou reciclagem de resíduos e calor para serem reintroduzidos no processo produtivo. Essas técnicas visam à redução de desperdícios na fonte e a reciclagem interna. Ambas têm o foco no processo produtivo da cerâmica vermelha.

Portanto, essas técnicas contribuem para a sustentabilidade da cerâmica vermelha porque, além de ajudarem a reduzir a disposição inadequada de resíduos no meio ambiente, reduzem o uso de argila, aumentando o tempo de vida útil das jazidas desse recurso natural, de insumos energéticos e os custos de produção.

Mudanças tecnológicas de processo (MTP)

Nandi et al. [66] constataram que o desperdício de energia térmica nas paredes, tetos, fornalhas e portas de visibilidade de um forno túnel podem gerar custos estimados de R\$ 250.000,00/ano para a cerâmica vermelha investigada. Diante disso, foram propostas a construção de novas fornalhas e portas de visibilidade, bem como o isolamento térmico da zona de queima com mantas térmicas como alternativas economicamente e ambientalmente viáveis, devido à redução de custo com a economia de combustível [66].

Nesse contexto, compreende-se que as técnicas propostas pelos autores são de MTP, haja vista que buscam implantar equipamentos para reduzir o desperdício de energia térmica. Essas técnicas visam à redução de desperdícios na fonte com foco no processo produtivo da cerâmica vermelha.

Sendo assim, a contribuição dessa técnica para a sustentabilidade da cerâmica vermelha consiste no uso de forma eficiente do insumo energético, o que ajuda na redução do uso de recuso natural (como a cobertura vegetal que fornece a lenha) e de custos de produção.

Reúso ou reciclagem interna (RRI) e mudanças de matérias-primas ou insumos (MMPI)

Fernandes et al. [55] demonstraram que incorporação de 12% de chamote à massa argilosa ajuda a diminuir a rugosidade superficial de telhas sem alterar o processo de fabricação. Zaccaron et al. [63], por sua vez, constataram a viabilidade da utilização de até 20% de chamote incorporado à massa argilosa no processo cerâmico. Além disso, verificaram, por meio de análises de lixiviação e de solubilização de resíduos, que o chamote foi classificado como resíduo não perigoso e não inerte, ou seja, um resíduo classe II A.

Já Oliveira et al. [69] reutilizaram chamote de telhas na massa argilosa para fabricação de blocos de vedação e os resultados apontaram que a formulação com 5% de teor de chamote incorporado à massa obteve os melhores resultados, sob condições de queima a 1000 °C. O estudo demonstrou que a incorporação do chamote à massa argilosa é viável, sendo que, em alguns casos, melhorou as propriedades tecnológicas do produto final. Portanto, o chamote pode ser uma alternativa para a cerâmica vermelha e uma solução para minimizar os impactos ambientais gerados pelo descarte dos resíduos da própria indústria de cerâmica vermelha [69].

Desse modo, tal incorporação de chamote à massa argilosa, proposta pelos autores, é uma técnica de RRI e também de MMPI. Essas técnicas visam à redução de desperdícios na fonte e a reciclagem interna, ambas, com foco no processo produtivo da cerâmica vermelha.

As técnicas propostas buscam, por meio de reciclagem, o retorno de RCV para o próprio processo produtivo cerâmico como um insumo incorporado à massa argilosa. Logo, contribuem para a sustentabilidade da cerâmica vermelha porque, além de reduzir os custos de produção, evitam a disposição inadequada de resíduos no meio ambiente e auxiliam a reduzir o uso de argila, aumentando o tempo de vida útil das jazidas desse recurso natural.

Reúso ou reciclagem interna (RRI), mudanças de matérias-primas ou insumos (MMPI) e mudanças no produto (MP)

Rosso et al. [64] concluíram que o reúso de RCV e polímeros recicláveis, como o politereftalato de etileno (PET), o polipropileno (PP) e o poliestireno (PS), para formação de um compósito cerâmico-polímero, a fim de fabricar telhas cerâmicas com a eliminação do processo de queima, podem fabricar um compósito de alta resistência mecânica à flexão, e baixa absorção de água, que chega a ser três vezes mais resistente quando comparado com telhas comerciais. Diante disso, há a possibilidade de fabricar telhas cerâmicas com espessuras menores, área de cobertura e leveza maiores que as convencionais, obtendo-se redução no custo de frete e de estrutura para cobertura. Além dessas características técnicas, outro ponto relevante é a questão ecológica: as formulações foram feitas com RCV e polímeros recicláveis, bem como com a eliminação da etapa de queima que proporciona uma redução no consumo de combustíveis e, conseqüentemente, da poluição atmosférica gerada pelos gases liberados na queima [64].

Portanto, essa técnica utilizada pelos autores pode ser classificada como de RRI, MMPI e MP, uma vez que se busca o reúso de RCV, oriundos do próprio processo cerâmico, e a reciclagem de polímeros como o PET, o PP e o PS, oriundos de outros processos produtivos, com o propósito de formar um compósito cerâmico-polímero para fabricar telha cerâmica. Essa técnica visa à redução de desperdícios na fonte e à reciclagem interna, tendo como foco o produto e o processo produtivo da cerâmica vermelha.

Trata-se, assim, de um novo produto, cujos design e composição são modificados para reduzir os impactos ao longo do seu ciclo de vida. Logo, essa técnica contribui para a sustentabilidade da indústria de cerâmica vermelha porque, além de reduzir custos de produção, evita a disposição inadequada de resíduos no meio ambiente, ajuda, sobretudo, a conservar a argila, aumentando o tempo de vida útil das jazidas desse recurso natural, e reduz o consumo de combustíveis, bem como a emissão de gases para a atmosfera, já que elimina o processo de queima.

Reúso ou reciclagem externa (RRE)

Garcia et al. [61] verificaram que o reúso de RCV é adequado para a utilização como aditivo pozolânico em cimento Portland. Utilizando o ensaio *Chapelle*, os autores verificaram que a média dos valores de reatividade de quatro amostras de RVC ficou em 612mg de Ca(OH)₂/grama, ultrapassando em 40% o valor mínimo aconselhado. Por isso, os resíduos cerâmicos passaram a ter um elevado potencial de serem reaproveitados como adição mineral em cimentos e concretos, uma vez que a composição química desses materiais se mostrou compatível com os valores requeridos por normas técnicas [61].

Por sua vez, Landolfo et al. [62] concluíram que o RCV, especificamente a fração graúda, pode ser um substituto do agregado natural de rocha granítica e calcária na produção de concreto de cimento *Portland*, levando em consideração os

resultados mecânicos obtidos na pesquisa. Todavia, foi recomendado, para estudos futuros, que se faça uma análise das propriedades físicas (absorção e porosidade) de tal resíduo para que se possa estimar a quantidade necessária de água para o amassamento [62].

Tais técnicas propostas pelos autores podem ser classificadas como RRE porque buscam dar uma destinação final ambientalmente adequada aos RCV com o objetivo de transformá-los em insumos para outras indústrias. Essas técnicas visam à reciclagem, o nível menos prioritário da P+L, com foco no resíduo da cerâmica vermelha.

Portanto, elas contribuem para a sustentabilidade da indústria de cerâmica vermelha, uma vez que evitam a disposição inadequada de resíduos no meio ambiente e ainda podem gerar receita com a venda desses resíduos para outras indústrias.

Lacunas e desafios

Após a análise dos resultados dos artigos, buscou-se desvendar lacunas e desafios na busca por contribuições para futuros estudos sobre P+L aplicada na indústria de cerâmica vermelha. Nesse sentido, a primeira lacuna que pode ser destacada é em relação à escassez do uso de metodologias para aplicação de um programa de P+L. Apenas um artigo [46] mencionou um guia de implementação da metodologia de P+L proposta pelo Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL) do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) do Rio Grande do Sul (RS) [11]. Importante ressaltar que os CNTL foram criados em 1995, em 8 países, pelo PNUMA (em inglês UNEP). Atualmente, há 58 centros funcionando em 56 países, inclusive no Brasil, cuja sede se localiza no SENAI [70]. Esses centros servem como um mecanismo para prestar serviços de P+L para empresas, governos e outras organizações, por meio de treinamentos e consultorias, de modo a encontrar as melhores soluções para problemas específicos com enfoque ambiental preventivo e viés econômico [71, 72].

Além do CNTL, há também a Rede Brasileira de Produção Mais Limpa, criada em 1999 com o intuito de promover o desenvolvimento sustentável nas micro e pequenas empresas do país. Na atualidade, a rede é formada por sete núcleos estaduais (MG, BA, SC, MT, RJ, CE e PE) e onze núcleos regionais do SEBRAE (DF, AM, AP, MS, PA, ES, AL, RJ, RN, PI e SE) e também conta com a parceria do PNUMA. Essa rede já implementou a P+L em mais de 300 empresas, proporcionando melhorias no desempenho ambiental e ganhos econômicos [73].

A segunda lacuna encontrada nos artigos diz respeito à ausência de implementação contínua de técnicas de P+L no processo produtivo cerâmico. Todos os artigos apontaram propostas de técnicas de P+L baseadas, principalmente, em experimentos. Contudo, não houve a implementação, de modo contínuo, dessas técnicas. Isso é um reflexo da primeira lacuna, a escassez de uso de metodologias para aplicação de um programa de P+L.

A terceira e última lacuna é acerca da insuficiência de técnicas de P+L que auxiliem a evitar a emissão de material particulado fino ou respirável, isto é, que possui diâmetro aerodinâmico igual ou menor a 2,5 μm (micrometro), liberado durante a queima de madeira na fabricação de produtos cerâmicos. Mortes prematuras, doenças mutagênicas e problemas respiratórios têm sido associados à exposição ao material particulado fino, pois é essa a fração que penetra no trato respiratório humano (nível alveolar), onde os mecanismos de expulsão desses poluentes não são eficientes [74, 75]. Esse tem se constituído como o principal contribuinte para o impacto sobre a saúde humana na produção de cerâmica vermelha [2].

Ressalta-se que têm sido propostas, para reduzir a emissão de material particulado fino, o uso de técnicas de fim-de-tudo, quais sejam, lavadores de gases, filtros manga, ciclones e precipitadores eletroestáticos [76]. Em oposição a tais técnicas, o que pode ser sugerido são técnicas de P+L que eliminem o processo de queima, conforme já foi exposto no artigo de Rosso et al. [64]. Outra técnica de P+L que pode ser indicada para prevenir a emissão de material particulado fino é o uso de Gás Natural (GN). O GN é o combustível fóssil com menor emissão do principal gás de efeito estufa, o dióxido de carbono (CO_2), que gera em torno de 15,3 tC/TJ (tonelada de carbono por terajoule) [77], cerca de 20 a 23% menos CO_2 do que o óleo combustível. Além disso, o GN, em equipamentos adaptados e adequados para sua queima, não emite óxido de enxofre (SO), fuligem e materiais particulados, enquanto as emissões de monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NO_x) poderiam ser relativamente bem controladas [78].

Diante disso, pode-se dizer que o uso de metodologias para a aplicação de programas de P+L, a implementação contínua de técnicas de P+L e as técnicas de P+L que ajudem a evitar a emissão de material particulado fino (MP 2,5) são os desafios para futuros estudos sobre a P+L aplicada na indústria de cerâmica vermelha.

CONCLUSÕES

Ratifica-se, a partir da revisão bibliográfica, que a P+L é uma abordagem que, ao ser implementada no processo de produção da indústria de cerâmica vermelha, melhora o desempenho socioambiental, uma vez que previne ou reduz desperdícios e geração de resíduos nocivos ao meio ambiente ao longo de um processo produtivo, não somente em sua finalização, ou até mesmo ao longo do ciclo de vida de um produto. Ou seja, a P+L se centra na prevenção, logo, traz contributos teóricos e técnicos que podem garantir a sustentabilidade do ramo fabril em questão. Além disso, pode-se afirmar que a revisão de literatura realizada sobre P+L, sustentabilidade e cerâmica vermelha contribuiu teoricamente para a redução das ambiguidades e das incongruências suscitadas por esses termos.

Dentre o universo de técnicas propostas nos artigos analisados, constatou-se que a maioria (57%) tem sido classificada como mudança de matéria-prima ou de insumo (MMPI), advinda da reciclagem de resíduos de outros processos industriais para ser utilizada como matéria-prima incorporada à massa argilosa, a exemplo do chamote oriundo de RCV, do lodo de ETA, do rejeito de rochas ornamentais, de vidro de lâmpadas fluorescentes descontaminadas e de resíduos de carvão mineral.

Destaca-se ainda que as principais contribuições práticas que a P+L pode proporcionar à sustentabilidade da cerâmica vermelha são: (i) a preservação de estoque de argilas por meio da sua substituição por resíduos reciclados de outros processos industriais; (ii) o uso eficiente da argila por meio de incorporação de resíduos reciclados à massa argilosa para aumentar o tempo de vida útil das jazidas de argila; (iii) a redução de desperdícios de argila, água, energia e emissões de gases para a atmosfera por meio da aplicação de boas práticas operacionais, de mudanças tecnológicas de processos, de reúso ou reciclagem interna de insumos; e (iv) a redução de riscos à saúde pública e ao meio ambiente, ao evitar a disposição inadequada de resíduos por meio de reúso ou reciclagem interna (na própria indústria) ou externa (para outras indústrias).

Ademais, quanto as contribuições teóricas, estas podem colaborar com informações e conhecimentos técnicos que aplicados podem reduzir os custos de produção e os desperdícios e resíduos no processo produtivo cerâmico, gerando oportunidades de receitas para as empresas do setor.

Por fim, ressalva-se que só a aplicação da P+L não é suficiente para atingir a sustentabilidade do segmento. Acredita-se que um caminho mais satisfatório para buscar tal objetivo seja, por exemplo, por meio da implantação de uma política de sustentabilidade que seja norteada por sistemas, como os de responsabilidade social, por subsistemas ou estratégias como os Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) e por abordagens, como o da P+L, o da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e o do *ecodesign*, e que tudo isso seja aplicado de forma integrada.

REFERÊNCIAS

- [1] Associação Nacional da Indústria de Cerâmica (ANICER). Relatório anual. 2014. Disponível em: <http://portal.anicer.com.br/wp-content/uploads/2015/09/relatorio_2014.pdf>. Acesso em: 12 out. 2015.
- [2] D. M. Souza, M. Lafontaine, F. Charron-doucet, X. Bengoa, B. Chappert, F. Duarte, L. Lima., *Journal of Cleaner Production* **89**, (2015) 165-173.
- [3] Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Anuário estatístico do setor de transformação de não metálicos. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1732813/Anu%C3%A1rio+Estat%C3%ADstico+do+Setor+de+Transforma%C3%A7%C3%A3o+dos+N%C3%A3o+met%C3%A1licos+2015.pdf/3ae38c3d-d37f-49cd-9586-bcef858914c6>>. Acesso em: 05 de jul. 2016.
- [4] A. C. da Silva, A. J. C. Pithon, J. L. Fernandes, L. M. dos Santos, *Cerâmica* **60**, (2014) 490-500.
- [5] A. A. Oliveira, *Tecnologia em cerâmica*, Editora Lara, Rio de Janeiro (2011).
- [6] P. Glavic, R. Lukman, *Journal of Cleaner Production* **15**, (2007) 1875-1885.
- [7] J. C. Barbieri, *Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos*, 2 ed., Saraiva, São Paulo (2007) 134.
- [8] S. C. Vergara, *Projetos e relatórios de pesquisa em administração*, 10º ed., Editora Atlas, São Paulo (2009) 45.
- [9] United Nations Environment Programme (UNEP), *Government strategies and policies for cleaner production*, UNEP Industry & Environment, Paris (1994) 3.
- [10] United Nations Environment Programme (UNEP), Division of technology, industry, and economics. Sustainable consumption & production branch. Resource efficient and cleaner production. Disponível em: <<http://www.unep.fr/scp/cp/>>. Acesso em 01 de jul. 2016.
- [11] Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial do Rio Grande do Sul (SENAI). *Implementação de programas de produção mais limpa*, CNTL, Porto Alegre (2003).
- [12] F. A. Oliveira Filho, *Aplicação do conceito de produção limpa: estudo em uma empresa metalúrgica do setor de transformação do alumínio*. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, (2001).
- [13] R. Hillary, N. Thorsen, *Journal of Cleaner Production* **7**, (1999) 1-11.
- [14] L.C. Vieira, F.G. Amaral, *Journal of Cleaner Production* **113**, (2016) 5-16.
- [15] J. Fresner, *Journal of Cleaner Production* **6**, (1998) 171-179.
- [16] J. K. Staniskis, *Water Purification and Management* **1**, (2011) 1-33.

- [17] R. Van Berkel, *Journal of Cleaner Production* **15**, (2007) 741-755.
- [18] L. W. Bass, *Journal of Cleaner Production* **1**, (1995) 55-59.
- [19] D. A. L. Silva, I. Delai, M. A. S. Castro, A. R. Ometto, *Journal of Cleaner Production* **47**, (2013) 174-187.
- [20] A. Howgrave-Graham; R. Van Berkel, *Journal of Cleaner Production* **15**, (2007) 787-797.
- [21] A. Kiperstok, A. Coelho, E. A. Torres, C. C. Meira, S. P. Bradley, M. Rosen, *Prevenção da poluição*, 1º ed., SENAI/DN, Brasília, (2002) 117.
- [22] L. Nilsson, P. O. Persson, L. Rydén, S. Darozhka, A. Zaliauskiene, *Cleaner production technologies and tools for resource efficient production*, The Baltic University Press, Uppsala, Sweden (2007) 22.
- [23] T. M. T. Gasi, E. Ferreira, *Produção mais limpa*, In: A. Vilela Júnior, J. Demajorvic, (Orgs.), *Modelos e ferramentas de gestão ambiental: desafios e perspectivas para as organizações*. 3 ed., Editora SENAC, São Paulo (2013).
- [24] S. Gurbuz, N. Kiran-Ciliz, O. Yenigun, *Journal of Cleaner Production* **12**, (2004) 613-621.
- [25] United Nations Environment Programme (UNEP), *Guidance manual how to establish and operate cleaner production centres*, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, Paris (2004).
- [26] Infopédia. *Dicionário da língua portuguesa com acordo ortográfico*. Técnica. Porto: Porto Editora. Disponível em: <<http://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/Técnica>>. Acesso em: 27 de jun. 2016.
- [27] S. N. Dodić, D. G. Vučurović, S. D. Popov, J. M. Dodić, J. A. Ranković, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **14**, (2010) 3242–3246.
- [28] United States Environmental Protection Agency (USEPA). *Facility pollution prevention planning guide*. Cincinnati, EPA 600/R92/088 (1992).
- [29] J. R. Siche, F. Agostinho, E. Ortega, A. Romeiro, *Ambiente & Sociedade* **X**, (2007) 137–148.
- [30] S. Sartori, F. Latrônico, L.M.S. Campos, *Ambiente & Sociedade* **17**, (2014) 01-22.
- [31] R. Costanza, *Ecological economics: the science and management of sustainability*. New York: Columbia Press, (1991).
- [32] T. Lindsey, *Journal of Cleaner Production* **19**, (2011) 561-565.
- [33] M. Gaussin, G. Hu, S. Abolghasem, S. Basu, M.R. Shankar, B. Bidanda, *International Journal of Production Economics* **146**, (2011) 515-523.
- [34] P. Bartelmus, *Ecological Economics* **46**, (2003) 61-81.
- [35] M. Lehtonen, *Ecological Economics* **49**, (2004) 199-214.
- [36] S.J Sarandón, *El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas* S.J Sarandón (Editor) *Agroecología: El Camino hacia una agricultura sustentable*. Ediciones Científicas. La Plata, Argentina Ediciones Científicas Americanas, (2002) 393-414.
- [37] J. A. Limaverde, *A indústria de cerâmica vermelha no Nordeste*, 1º ed., BNB/ETENE, Fortaleza (1983).
- [38] P. D. M. Silva Filho, *Análise da sustentabilidade empresarial de indústrias do setor de cerâmica vermelha do Estado da Paraíba*. 2014. Dissertação (Mestrado em Administração) - Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa (2014).
- [39] E. Facincani, *Coletânea de tecnologia cerâmica: cerâmica estrutural*, 1º ed., Faenza Editor do Brasil, São Paulo (2002).
- [40] Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG), *Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica vermelha*. Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/GUIAS_TECNICOS_AMBIENTAIS/guia_ceramica.pdf>. Acesso em: 11 out. 2015.

- [41] A. P. Dadam, V. P. Nicolau, T. G. Jahn, R. F. Hartke, *Cerâmica Industrial* **11**, (2006) 40-46.
- [42] M. R. V. Schwob, *Perspectivas de difusão do gás natural na indústria de cerâmica vermelha. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (2007).*
- [43] M. R. V. Schwob, M. Henriques Júnior, A. Szklo, *Applied Energy* **86**, (2009) 1524-1531.
- [44] G. C. Gricoletti, M. A. Sattler, *Ambiente Construído* **3**, (2003) 101-114.
- [45] E. P. Almeida, L. R. Porto, E. M. M. A. Nóbrega, A. F. F. Queiroga, I. Costa, *Anais International Workshop Advances In Cleaner Production, São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/4a/2/E.%20P.%20Almeida%20-%20Resumo%20Exp%20-%204A-2.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2015.*
- [46] D. Maciel, L. Freitas, *Revista Produção Online* **13**, (2013) 1355-1380.
- [47] M. M., Morais, C. A. Gomes, Y. M. Paz, R. A. S. Jeronimo, R. M. Holanda, *Anais International Workshop Advances In Cleaner Production, São Paulo, 2015, São Paulo, Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/fifth/files/sessoes/5A/1/morais_mm_et_al_academic.pdf> . Acesso em: 01 jul. 2016.*
- [48] S. R. Teixeira , G.T.A. Santos, A.E. Souza, P. Alessio, S.A. Souza, N.R. Souza, *Applied Clay Science* **53** (2011) 561–565.
- [49] R. Tartari, A. N. Módenes, S. A. Pianaro, N. Díaz-Mora, *Cerâmica* **57** (2011) 387-394.
- [50] A. C. Teloeken, D. L. Villanova, T. M. Basegio, C. P. Bergmann, *Cerâmica Industrial* **16**, (2011) 14-19.
- [51] L. G. Pedroti, J. Alexandre, G. C. Xavier, S. N. Monteiro, C. M. F. Vieira, A. V. Bahiense, P. C. A. Maia, *Cerâmica Industrial* **16**, (2011) 25-30.
- [52] G. T. Saleiro, J. N. F. Holanda, *Cerâmica* **58**, (2012) 393-399.
- [53] F. R. Bruxel, E. C. Oliveira, S. Stulp, C. S. Muller, H. D. Etchepare, *Cerâmica* **58** (2012) 211-215.
- [54] D. V. Rodrigues, G. C. Xavier, F. Saboya, P. C. A. Maia, J. Alexandre, *Cerâmica* **58** (2012) 286-293.
- [55] P. Fernandes, K. Donadel, V. S. Nandi, P. Mantas, *Cerâmica Industrial* **17**, (2012) 42-46.
- [56] K. C. P. Faria, J. N. F. Holanda, *Cerâmica* **59**, (2013) 473-480.
- [57] S. P. Taguchi, J. C. Santos, T. M. Gomes, N. A. Cunha, *Cerâmica* **60** (2014) 291-296.
- [58] V. S. Nandi, A. Zaccaron, P. Fernandes, J. P. Dagostin, A. M. Bernadin, *Cerâmica Industrial* **19**, (2014) 29-32.
- [59] B. C. A. Pinheiro, G. M. Estevão, D. P. Souza, *Revista Matéria* **19**, (2014) 204 -211.
- [60] E. Wolff , W. K. Schwabe, S. V. Conceição, *Journal of Cleaner Production* **96**, (2015) 282-289.
- [61] E. Garcia, M. Cabral Junior, V. A. Quarcioni, F. F. Chotoli, *Cerâmica Industrial* **19**, (2014) 32-38.
- [62] R. Landolfo, M. P. Oliveira, N. A. S. Nogueira, *Cerâmica Industrial* **19**, (2014) 35-41.
- [63] A. Zaccaron, S. L. Galatto, V. S. Nandi, P. Fernandes, *Cerâmica Industrial* **19**, (2014) 33-39.
- [64] F. Rosso, K. Donadel, V. S. Nandi, A. Zaccaron, J. B. Pessoa, C. D. P. A. Rodrigues, D. D. Candiotta, G. Ghizzo, *Diego Cologni, Cerâmica Industrial* **19**, (2014) 42-45.
- [65] A. Zaccaron, V. S. Nandi, D. B. Silva, A. B. Comin, *Cerâmica Industrial* **20**, (2015) 38-44.
- [66] V. S. Nandi, J. M. Inocente, A. Zaccaron, A. M. Bernardin, *Cerâmica Industrial* **20**, (2015) 30-39.
- [67] T. M. Mendes, G. Morales, P. J. Reis, *Cerâmica* **62**, (2016) 157-162.

- [68] M. E. A. Carreiro, R. C. Santos, V. J. Silva, H. L. Lira, G. A. Neves, R. R. Menezes, L. N. L. Santana, *Cerâmica* **62** (2016) 170-178.
- [69] Y. L. Oliveira, Z. Linhares Júnior, L. Ancelmo, R. A. L. Soares, *Cerâmica Industrial* **21**, (2016) 45-50.
- [70] R.A. Luken, R. Van Berkel, H. Leuenberger, P. Schwager, *Journal of Cleaner Production* **112**, (2016) 1165-1174.
- [71] R. A. Luken, J. Navratil, *Journal of Cleaner Production* **12**, (2004) 195–205.
- [72] R. Van Berkel, *Journal of Environmental Management* **91**, (2010) 1556-1565.
- [73] H. C. D. Pimenta, R. P. Gouvinhas, *Produção* **22**, (2012) 462-476.
- [74] P. Michelozzi, F. Forastiere, D. Fusco, C. A. Perucci, B. Ostro, C. Ancona, G. Palloti, *Occupational and Environmental Medicine* **55**, (1998) 605-610.
- [75] R. J. Delfino, C. Sioutas, S. Mailik, *Environmental Health Perspective* **113**, (2005) 934-946.
- [76] Associação Nacional da Indústria de Cerâmica (ANICER). Cartilha ambiental cerâmica vermelha. 2014. Disponível em: <http://anicer.com.br/Cartilha_Ambiental_Ceramica_Vermelha_%202014.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2016.
- [77] IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2, Energy. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>>. Acesso em: 30 nov.2016.
- [78] Brasil, Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Boletim de análise e conjuntura energética. 2006.

APÊNDICE B – Diagnóstico dos resíduos sólidos e desperdícios de uma cerâmica vermelha para implementação de técnicas de produção mais limpa

R. G. da Silva¹, V. P. da Silva²

¹²Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais (PPgUSRN), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), campus Natal Central, Av. Senador Salgado Filho, 1559, Tirol, Natal-RN, CEP: 59015-000
robsontecnologo@yahoo.com.br, valdenildo.silva@ifrn.edu.br

Resumo

A indústria de cerâmica vermelha, ou estrutural, tem apresentado problemas com relação a geração dos resíduos sólidos e desperdícios de insumos no âmbito do seu processo produtivo. Embora a discussão da sustentabilidade no segmento tenha crescido, ao longo dos últimos anos, poucos estudos ou diagnósticos têm sido produzidos sobre a situação qualitativa e quantitativa dos resíduos sólidos e desperdícios gerados durante o ciclo de produção de cerâmicas vermelhas. Portanto, este estudo busca diagnosticar a geração dos resíduos sólidos e desperdícios de insumos junto a empresa Vilar Produtos Cerâmicos de Tangará-RN, com fins para implementação de uma produção mais limpa. O método de pesquisa adotado consistiu em pesquisas bibliográfica e documental, além de pesquisas de campo e o estudo de caso da empresa citada, incluindo visitas técnicas, observações e análises de entradas, saídas e retroações (reúso) dos processos produtivos, seguindo etapas da produção mais limpa do Centro Nacional de Tecnologias Limpas do SENAI. Os resultados mostraram uma situação de geração de resíduos sólidos e desperdícios, sobretudo, nos processos de extrusão, corte, secagem e queima. Nesses processos foram gerados 11,626t de resíduos sólidos (ou 92,74% do total de resíduos) e, conseqüentemente, 974,4l de água residual (ou 87,12% do total de água residual). Nessa situação, ficou constatado que os principais desperdícios foram de argila, água e energia elétrica, devido a ineficiência no consumo desses insumos motivada pela geração de resíduos sólidos, causando impactos adversos à empresa e ao meio ambiente. Conclui-se que, torna-se imperativo, na cerâmica vermelha investigada, a implementação de técnicas de produção mais limpa para aumentar a eficiência no uso de insumos e reduzir a geração de resíduos sólidos e desperdícios, gerando ganhos socioeconômicos e ambientais bem mais sustentáveis para empresa.

Palavras-chave: produção mais limpa, resíduos sólidos, desperdícios, cerâmica vermelha.

Abstract

The red or structural ceramics industry has presented problems related to the generation of solid residues and waste of inputs in the scope of its production process. Although the discussion of sustainability in this segment has grown, over the last few years, few studies or diagnoses have been produced about qualitative and quantitative situation of solid residues and wastes generated during the production cycle of red ceramics. Therefore, this study seeks to diagnose the generation of solid waste and waste of inputs from Vilar Produtos Cerâmicos de Tangará-RN, with the purpose of implementing a cleaner production. The research method consisted of bibliographical and documentary research, as well as field research and the case study of the cited company, including technical visits, observations and analyzes of inputs, outputs and feedbacks (reuse) of production processes, following production stages Cleaner of SENAI's National Center for Clean Technologies. The results showed a situation of generation of solid residues and wastes, especially in the extrusion, cutting, drying and burning processes. In these

processes 11,626 tons of solid waste (or 92.74% of total wastes) were generated and, consequently, 974,4 liters of waste water (or 87.12% of total waste water). In this situation, it was verified that the main wastes were from clay, water and electricity, due to inefficiency in the consumption of these inputs motivated by the generation of solid waste, causing adverse impacts to the company and the environment. It was concluded that it is imperative to implement cleaner production techniques in investigated industry, to increase efficiency in the use of inputs and reduce the generation of solid waste and wastes, generating much more sustainable socioeconomic and environmental gains for company.

Key-words: cleaner production, solid residue, waste, red ceramics.

1. Introdução

A indústria da cerâmica vermelha tem uma estrutura empresarial diversificada, na qual tem predominado empresas familiares de pequeno e médio portes em detrimento de grandes organizações, que, no geral, apresentam deficiências de mecanização, de gestão e de inovações tecnológicas (BRASIL, 2015). Em decorrência disso, as indústrias ceramistas têm demonstrado problemas quanto a geração de resíduos sólidos e desperdícios de insumos no transcorrer da produção, controlando, muitas vezes, os resíduos somente no final do processo. Resíduos nos estados sólido e semissólido, resultantes de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, dentre outros, são entendidos como resíduos sólidos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). Por sua vez, desperdícios, são elementos de uma dada produção que só aumentam os custos sem agregação de valor ao produto (OHNO, 1997). Contudo, são incipientes os diagnósticos e estudos científicos que tratam da geração de resíduos sólidos e desperdícios no âmbito das organizações industriais, em especial no setor da cerâmica vermelha. Quase não se sabe ou se conhece a situação qualitativa e quantitativa dos resíduos sólidos, nem tampouco sobre que desperdícios têm sido gerados, principalmente, durante o ciclo de produção, isto é, o período de tempo necessário em que os processos levam para produzir uma certa quantidade de produtos cerâmicos (blocos ou telhas).

O processo de produção da cerâmica vermelha geralmente se inicia com a extração da argila (matéria-prima), seguida pela estocagem, alimentação, desintegração, homogeneização ou mistura da argila, laminação, extrusão, corte (para blocos de vedação e lajotas), prensagem (para telhas), secagem, queima e estocagem de produtos para expedição ou venda (SILVA et al., 2014). Tal processo tem consumido insumos, sobretudo, argila, água, lenha, energia térmica e energia elétrica (OLIVEIRA, 2011), provocando impactos adversos sobre o meio ambiente. Exemplo disso, pode ser evidenciado pelo estudo de caso desenvolvido junto a empresa Vilar Produtos Cerâmicos, situada no município de Tangará no estado do Rio Grande do Norte (RN). Embora a empresa tenha elevado a produtividade industrial de cerâmicos, adotando inovações tecnológicas, como a implantação da secagem artificial com reaproveitamento de calor do forno, da adesão ao Programa Setorial de Qualidade (PSQ), e com o reúso de resíduos (pó de serragem) de outras indústrias, vem gerando resíduos sólidos e mantendo desperdícios, principalmente, nos processos de extrusão, corte, secagem e queima. A priori, tem-se um processo produtivo no qual tem apresentado deficiência ou ausência de técnicas que evitem e reduzem resíduos sólidos e desperdícios de insumos, possibilitando eficiência produtiva, ganhos socioeconômicos e melhor ambiente de trabalho.

Essas técnicas podem ser viabilizadas por meio da implementação de passos da Produção mais Limpa (P+L), como a elaboração de um fluxograma qualitativo e a quantificação de entradas e

saídas da produção, contribuindo para um melhor conhecimento das origens dos resíduos e desperdícios (MACIEL; FREITAS, 2013). Por P+L, entende-se, como sendo a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva e integrada, aplicada a processos, produtos e serviços, visando aumentar eficiência e reduzir os riscos aos seres humanos e ao meio ambiente (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2004; UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2006). Para o Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL), a P+L é a aplicação de uma estratégia técnica, econômica e ambiental integrada aos processos e produtos, com o objetivo de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, por meio da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos e emissões geradas, com benefícios ambientais, de saúde ocupacional e econômicos (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2003a).

A metodologia para implementação da P+L da UNEP, difundido no Brasil pelo CNTL, tem sido amplamente utilizada em vários trabalhos e em distintos setores produtivos (MACIEL; FREITAS, 2013). Ela é composta por 5 fases, como o planejamento e organização (1), pré-avaliação (2), avaliação (3), implementação (4) e estudo de viabilidade (5), as quais, cada qual, possui alguns passos a serem seguidos. Neste estudo, optou-se pelas fases 1 e 2, que dentre outros, contempla o passo de diagnóstico ambiental e do processo. Esse diagnóstico constituiu-se como um levantamento de dados para subsidiar a implementação da P+L, isto é, uma base de dados que fornece uma “fotografia” da real situação da empresa mediante sua interação com o meio ambiente (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2003b).

Portanto, este estudo busca diagnosticar a geração de resíduos sólidos e de desperdícios de argila, de água, de energia elétrica e de pó de serragem do processo produtivo da Vilar Produtos Cerâmicos de Tangará-RN, com base na metodologia de implementação de P+L do Centro Nacional de Tecnologias Limpas do SENAI. Entende-se que, a partir desse diagnóstico, é possível implementar técnicas de P+L no processo produtivo da empresa objeto de estudo. O presente artigo, além desta Introdução, está organizado, com as seguintes seções: Metodologia, Resultados e Discussão, Conclusões e Referências.

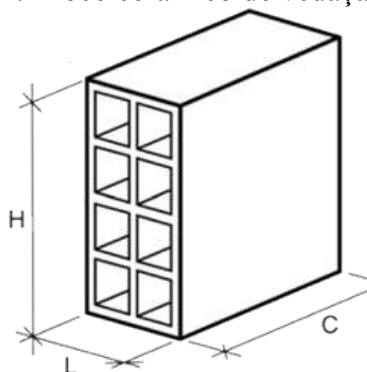
2. Metodologia

O presente trabalho pode ser classificado como sendo um estudo de caso sobre a empresa Vilar Produtos Cerâmicos, tendo por base os passos de implementação de técnicas de P+L do CNTL do SENAI procedendo adaptações mediante a realidade empírica dessa empresa. Esta metodologia é composta pela descrição geral do objeto de investigação e pelos procedimentos metodológicos.

2.1. Descrição geral do objeto de estudo

A empresa Vilar Produtos Cerâmicos, atuante no mercado há 13 anos, está localizada no município de Tangará-RN, região Agreste do RN, distante cerca de 95km de Natal, capital do estado. Ela possui uma área com cerca de 4 hectares, sendo 4000 m² de área construída, tem um total de 36 funcionários, sendo 3 na administração e o restante (33) na produção. A jornada de trabalho é de 44 horas semanais, sendo, de segunda à sexta, jornadas de 8 horas por dia (das 7 horas às 17 horas) e, aos sábados, de 4 horas por dia (das 7 horas às 11 horas), totalizando 220 horas mensais. O bloco cerâmico de vedação com dimensões de 9x19x19cm (Figura 1) é o principal produto fabricado na empresa com uma produção estimada de 1.100 milheiros mensal, ou 1 milhão e 100 unidades produzidas, de acordo com o administrador da empresa. O produto é vendido para cidades circunvizinhas, para algumas cidades da região metropolitana de Natal, mas também para cidades do estado da Paraíba.

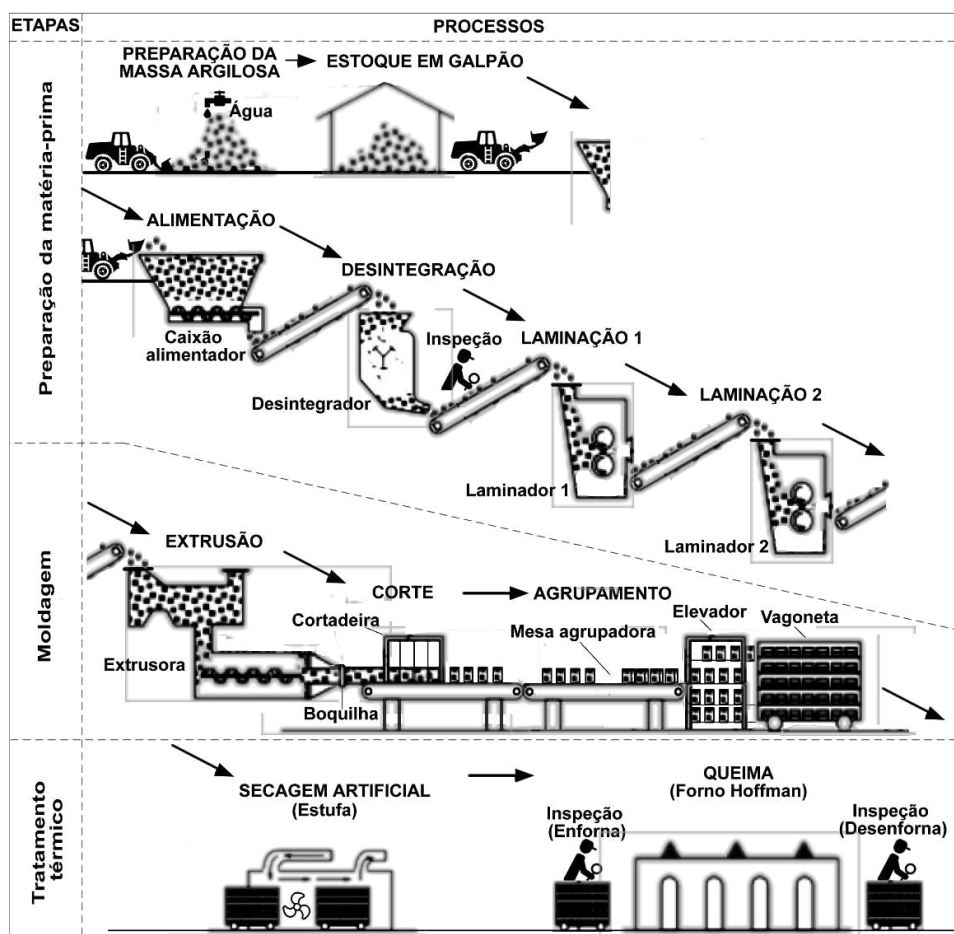
Figura 1. Bloco cerâmico de vedação produzido na empresa



Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015).

Para a fabricação deste tipo de bloco são realizadas as etapas e processos conforme apresentados a seguir (Figura 2).

Figura 2. Etapas e processos produtivos na fabricação de blocos de vedação na empresa.



Fonte: autoria própria (2017).

Na etapa de *preparação da matéria-prima* (argila) são realizados os processos de: *preparação da massa argilosa* (i), que é a separação das argilas estocadas e sazoadas, formando-se montes, em que serão misturadas entre si com água (FIEMG, 2013). Tem sido utilizado 4 tipos de

argilas, sendo 2 argilas tipo Massapê (de média plasticidade) 1 argila Magra (baixa plasticidade) e 1 argila Gorda (alta plasticidade). Elas são misturadas com água (a quantidade pode variar conforme a umidade da argila) para adquirirem certa plasticidade na proporção ou dosagem de: 2:1:1:1, ou seja, duas partes de uma argila Massapê, uma parte da outra Massapê, uma parte de argila Magra e uma de argila Gorda. A água consumida é extraída de poço tubular e armazenada em 4 reservatórios: 2 suspensos de 5.000 litros cada um e 2 submersos de 10.000 litros cada um. Após essa mistura, a massa argilosa é estocada em galpão para “descanso” num período que varia entre 1 e 3 dias. Depois, por meio de um veículo pá carregadeira, a argila misturada é inserida na *alimentação* (ii), onde é usado um caixão alimentador para uniformizar a massa argilosa e abastecer os processos seguintes da produção (LIMAVERDE, 1983). Prontamente segue para a *desintegração* (iii), processo no qual ocorre o destorroamento ou a trituração de grandes torrões de argilas compactas, visando reduzi-los ao tamanho máximo de 20mm (LIMAVERDE, 1983). Após é realizada uma inspeção (na esteira) para investigar e retirar impurezas como raízes e pedregulhos. Imediatamente a massa argilosa vai para a *laminação* (iv), onde são usados 2 laminadores para estirar a massa argilosa por meio de 2 cilindros que giram em rotações diferentes, formando pedaços laminados dessa massa (OLIVEIRA, 2011).

Por sua vez, na etapa de *moldagem*, são realizados os processos de: *extrusão* (i), com o uso de uma extrusora ou maromba a vácuo para retirar o ar da massa argilosa e, em seguida, extrusá-lo por meio de um parafuso em que o material é forçado contra um molde ou boquilha, resultando em uma coluna de material no formato e nas dimensões da boquilha escolhida (LIMAVERDE, 1983). Em seguida, o *corte* (ii), o qual tem o uso de cortadeira automática que, por meio de uma mesa de rolar com um dispositivo com um fino arame de corte, corta a coluna da massa argilosa na dimensão desejada, resultando em rebarbas e blocos crus cortados (LIMAVERDE, 1983). Logo em seguida, o *agrupamento* (iii), onde é usada uma mesa com roletes e sensores que agrupam os blocos crus cortados e encaminham para um elevador automático que carrega as vagonetas.

Por fim, na etapa de *tratamento térmico*, são realizados os processos de: *secagem artificial* (i), que é a eliminação de água do bloco cru por evaporação com a ajuda do vento de 10 ventiladores autoviajantes e do calor recuperado do forno. É uma secagem contínua, pois os blocos se movimentam à medida em que eles são inseridos úmidos numa extremidade e retirados secos na outra, onde é mais quente e seco (OLIVEIRA, 2011). Após a secagem os blocos são conduzidos para a inspeção, antes de serem enfiados, para verificar a presença de blocos com não-conformidades, como trincas, deformações e quebras. Posteriormente, os blocos secos em conformidade são submetidos a *queima* (ii), onde são dispostos (empilhados) no forno tipo Hoffman, que é de queima contínua, a uma certa temperatura (pode variar entre 800°C e 1000°C) para adquirirem as propriedades físico-químicas necessárias para o estado final do produto. Em seguida, na desenfora, é realizada a inspeção para identificar blocos cozidos em não-conformidade, ou seja, com trincas, quebrados, deformados ou mal queimados. Nesse processo tem sido utilizado como combustível o pó de serragem, isto é, pó residual procedente de processos produtivos de serrarias e movelarias da região.

Ressalta-se que toda energia elétrica consumida pelos maquinários no processo produtivo da cerâmica é fornecida pela Companhia Energética do Rio Grande do Norte (COSERN). Na próxima seção, serão apresentados os procedimentos metodológicos desta pesquisa.

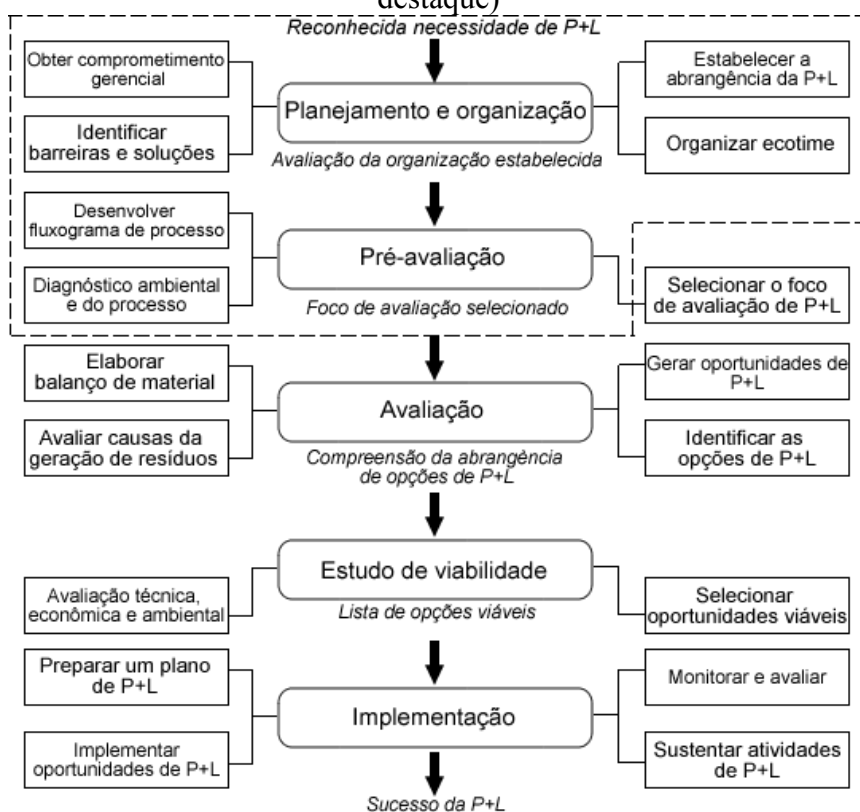
2.2. Procedimentos metodológicos

Do ponto de vista dos meios este estudo adotou as pesquisas bibliográfica, documental e o estudo de caso junto a empresa Vilar Produtos Cerâmicos, por meio de visitas técnicas

efetivadas nos meses de maio e agosto de 2016. A pesquisa bibliográfica teve como intuito levantar artigos científicos em periódicos e anais de congressos, livros, teses, e dissertações sobre os temas aqui expostos. Por sua vez, a documental levantou documentos em sites da internet, como manuais, relatórios, leis e normas. Realizou-se um estudo de caso cuja primeira etapa consistiu em uma investigação empírica na empresa, por meio de um formulário de coleta de dados primários (APÊNDICE C), como nome, localização, quantidade e escala de trabalho dos funcionários e aspectos relacionados ao processo produtivo e aos insumos utilizados. E por fim, efetivou-se um estudo detalhado dos processos produtivos da Vilar Produtos Cerâmicos para diagnosticar os resíduos sólidos e desperdícios de insumos da produção (VERGARA, 2009; YIN, 2005).

O estudo de caso foi realizado com base na metodologia de implementação de técnicas de P+L recomendada pela UNEP (2004) e pelo CNTL (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2003a). Para se adequar ao objetivo proposto neste trabalho e a realidade da empresa estudada, no contexto deste estudo, utilizou-se as fases de planejamento e organização (1) e de pré-avaliação (2) e seus passos, quais sejam: obter comprometimento gerencial, identificar barreiras e soluções, estabelecer a abrangência da P+L, organizar ecotime, desenvolver fluxograma de processo e realizar diagnóstico ambiental e de processo (Figura 2).

Figura 2. Fases e passos da implementação de técnicas de P+L adotados neste trabalho (em destaque)



Legenda: [] Fases e passos adotados neste trabalho

Fonte: adaptado de SENAI (2003), UNEP (2004) e Van Berkel (1995).

Para contemplar as fases e passos demonstrados acima, o trabalho adotou as etapas descritas a seguir.

2.2.1 Sensibilização da gerência da empresa e identificação de barreiras e soluções para realização do diagnóstico, visando definir sua abrangência e organização do ecotime

Nesta etapa este trabalho realizou uma reunião com a gerência da empresa, de modo a obter um comprometimento da gerência para a realização do diagnóstico de resíduos sólidos e desperdícios da cerâmica. Nesse sentido, explicou-se sobre os objetivos do trabalho, os conceitos, as técnicas e os benefícios da P+L, apresentando estudos de casos para sensibilizar a gerência e os funcionários e possibilitar a consecução das demais fases do diagnóstico. Nessa mesma reunião, discutiu-se as barreiras e soluções para consecução do trabalho e identificou-se como barreiras para a ausência ou deficiência de registros de dados quantitativos e qualitativos dos processos produtivos, a baixa instrução e falta de tempo de funcionários para participarem do trabalho. Como solução sugeriu-se a elaboração de planilhas de registros e ficou acordado com a gerência da empresa que os funcionários ajudariam somente na separação e pesagem de resíduos sólidos gerados na produção. Depois, estabeleceu-se a abrangência do diagnóstico, isto é, foi determinado como escopo do trabalho os processos produtivos da cerâmica: da alimentação à queima. Por fim, organizou-se um ecotime, ou seja, um grupo de funcionários da empresa para ajudar na separação e pesagem de resíduos sólidos gerados na produção (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2003a).

2.2.3 Elaboração do fluxograma qualitativo do processo produtivo, almejando visualizar e definir os fluxos da produção

Após a sensibilização da gerência da empresa e identificação de barreiras e soluções para realização do diagnóstico, visando definir sua abrangência e organização do ecotime, deu-se início a elaboração do fluxograma qualitativo do processo produtivo da empresa, almejando visualizar e definir os fluxos da produção. Para tanto foram efetuadas observações simples do processo produtivo e os dados coletados registrou-se em um fluxograma (item 6 do APÊNDICE C). O fluxograma foi elaborado por meio de um diagrama de blocos para visualizar e definir o fluxo qualitativo de entradas de insumos, de saídas de resíduos sólidos e desperdícios e de retroações, isto é, dos resíduos sólidos reutilizados nos processos.

2.2.4 Quantificação de entradas, saídas e retroações (reúso)

Posteriormente, realizou-se um diagnóstico ambiental e do processo produtivo da cerâmica por meio da quantificação de entradas, saídas e retroações (reúso) ao longo da produção. Para isso, primeiramente, levantou-se, por meio de entrevistas informais e observações, algumas informações padrões para o ciclo de produção, quais sejam: umidade da argila (%) no processo de alimentação, massa (kg) do bloco cru extrusado, comprimento (cm) e massa (kg) da rebarba cortada, massa (kg) do bloco seco, massa (kg) do bloco cozido, massa (kg) do saco de pó de serragem (APÊNDICE D) e a quantidade de máquinas, motores e suas potências em w e kWh (APÊNDICE E).

Depois, a partir de uma observação sistemática (GIL, 2008), durante um ciclo de produção, ou seja, o período de tempo em que os processos produtivos levaram para produzir uma certa quantidade de blocos cozidos, levantou-se os dados de entradas saídas da produção (APÊNDICE F). Este período compreendeu 7 dias, sendo 1 dia (8h contínuas) do processo de alimentação até o agrupamento, 3 dias (72h contínuas) para a secagem artificial e 3 dias (72h contínuas) na queima. Para a quantificação de entradas e saídas em um período de curta duração recomenda-se monitoramento mais exato (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2003b). Portanto, acompanhou-se três ciclos de produção na empresa e foi

escolhido um ciclo que apresentou uma produção normal, ou seja, com ausência de paradas devido a equipamentos quebrados e manutenções. Os dados coletados foram registrados por meio de fotografias e notas. As notas foram armazenadas em planilhas eletrônicas. Os cálculos para quantificação de entradas, saídas e retroações (reúso) foram realizados por meio de uma série de fórmulas em planilha eletrônica do *software Microsoft Excel 2013*, as quais serão descritas de forma detalhada nas seções seguintes.

2.2.4.1 Quantificação de entradas

A quantificação do consumo de entradas, escopo desta pesquisa, foram: argila, água, energia elétrica e pó de serragem. Para a quantificação do consumo total de argila em toneladas (t) foi considerada a seguinte equação (ver Eq. 1):

$$CTAR = (TPP \times MP) + TR / 1000 \quad (1)$$

Na Eq. 1, o CTAR significa o Consumo Total de Argila (t) no processo produtivo; TPP é o Total de Produtos Produzidos (blocos de vedação); MP é a Massa (kg) do Produto; TR é o Total de Resíduos sólidos (kg) gerados em todos os processos e; 1000 é o fator de conversão de kg para t.

Em relação a quantificação do consumo total de água levou-se em consideração a equação a seguir (ver Eq. 2).

$$CTA = (MAU - MAS) \times CTAR / MAU \quad (2)$$

Na Eq. 2, o CTA significa o Consumo de Água Total (l) no processo produtivo; o MAU é uma amostra de 0,1 kg de Material Argiloso Úmido (pesado em balança analítica); o MAS é a amostra de MAU seca, isto é, o Material Argiloso Seco depois de ficar em estufa a 100°C e 24 horas e; o CTAR é o Consumo Total de Argila (kg) no processo produtivo.

Para quantificar o consumo de energia elétrica total considerou-se a seguinte equação (ver Eq. 3):

$$CEP = \sum CEEM \quad (3)$$

Na Eq. 3, o CEP significa o Consumo de Energia elétrica (kWh) no Processo; $\sum CEEM$ é a soma do Consumo de Energia Elétrica (kWh) dos motores das máquinas que compõe o processo.

Quanto ao consumo pó de serragem o valor foi obtido por meio da seguinte equação (ver Eq. 4):

$$CPS = TSC \times MS / 1000 \quad (4)$$

Na Eq. 4, o CPS significa o Consumo de Pó de Serragem (t); o TSC é o Total (unidades) de Sacos de pó de serragem Consumidos; MS é a Média da massa (kg) de Sacos de pó de serragem e; 1000 é o fator de conversão de kg para t.

2.4 Quantificação de saídas

A quantificação de saídas, escopo desta pesquisa, foram os resíduos sólidos gerados ao longo do processo produtivo como massa argilosa, rebarbas de blocos crus, blocos crus defeituosos e blocos cozidos defeituosos, os desperdícios de energia elétrica e de pó de serragem, bem como os blocos crus, os blocos crus secos e blocos cozidos em conformidade.

A quantificação da massa (t) dos resíduos sólidos gerados nos processos de alimentação, desintegração, laminação (1 e 2), extrusão, corte e agrupamento foi realizada por meio da pesagem desses resíduos em balança industrial no final do expediente de trabalho. Já os resíduos sólidos (blocos crus secos defeituosos) gerados na secagem foram quantificados (t) por meio da seguinte equação (ver Eq. 5):

$$MTBSDS = TBSD \times MBSC / 1000 \quad (5)$$

Na Eq. 5, o MTBSDS significa a massa (t) Total dos Blocos crus Secos Defeituosos gerados na Secagem; TBSD é o Total (unidade) de Blocos crus Secos Defeituosos, os quais foram identificados e contados no momento da inspeção da enfora; MBSC é a Massa (kg) de um Bloco cru Seco em Conformidade e; 1000 é o fator de conversão de kg para t.

Em relação a quantificação da massa (t) dos produtos defeituosos gerados no processo de queima considerou-se a seguinte equação (ver Eq. 6):

$$MTPDQ = TPD \times MPC / 1000 \quad (6)$$

Na Eq. 6, o PTRQ significa a massa (t) Total dos Produtos Defeituosos gerados na Queima; TPD é o Total (unidades) de Produtos Defeituosos, os quais foram identificados e contados no momento da inspeção da desenfora; o MPC é a massa (kg) do Produto Conforme e; 1000 é o fator de conversão de kg para t.

Para a quantificação da água residual (l) presente nos resíduos sólidos gerados entre os processos de alimentação e agrupamento foi considerada a equação a seguir (ver Eq. 7):

$$ARP = (MAU - MAS) \times MRS GP / MAU \quad (7)$$

Na Eq. 7, o ARP significa a Água Residual (l) gerada no Processo; o MAU é uma amostra de 0,1 kg de Material Argiloso Úmido (pesado em balança analítica); o MAS é a amostra de MAU seca, isto é, o Material Argiloso Seco depois de ficar em estufa a 100°C e 24 horas e; o MRS GP é a massa (kg) do Resíduo Sólido Gerado no Processo.

Por sua vez, a água residual (l) gerada no processo de secagem foi obtida considerando a seguinte equação (ver Eq. 8):

$$ARS = (MBCSC - PPC) \times MBCSDS / MBCSC \quad (8)$$

Na Eq. 8, o ARS significa a Água Residual (l) presente nos blocos crus secos defeituosos da secagem; o MBCSC é a Massa (kg) do Bloco Cru Seco em Conformidade; o MPC é a massa (kg) do Produto em Conformidade e; o MBCSDS é a massa total (kg) dos Blocos Crus Secos Defeituosos gerados na Secagem.

Para quantificar o desperdício de energia elétrica (kWh) por processo considerou-se a equação a seguir (ver Eq. 9):

$$DEEP = EECP / AEP \times RSGP \quad (9)$$

Na Eq. 9, o DEEP significa o Desperdício de Energia Elétrica (kWh); EECP é a Energia Elétrica (kWh) Consumida no Processo; AEP é a Argila (t) que Entrou no Processo e; RSGP é o Resíduo Sólido (t) Gerado no Processo.

Já para obter a quantificação do desperdício de pó de serragem (t) no processo de queima elaborou-se a seguinte equação (ver Eq. 10):

$$DPS = (CPS/TPC) / TPD \quad (10)$$

Na Eq. 10, o DPS significa o Desperdício de Pó de Serragem (t); CPS é o Consumo de Pó de Serragem (t); TPC é o Total de Produtos produzidos em conformidade (milheiro) e; TPD é o Total (milheiro) de Produtos Defeituosos gerados na queima (milheiro).

Para a quantificação dos blocos crus úmidos (milheiro) em conformidade que foram para secagem considerou-se a seguinte equação (ver Eq. 11):

$$BCUS = (VS - F) / 1000 \quad (11)$$

Na Eq. 11, o BCUS significa os Blocos Crus Úmidos (milheiro) em conformidade que foram para Secagem; VS é o número (unidade) de Vagonetas (uma vagoneta tem capacidade total de 560 blocos) que foram para a Secagem; F é o número (unidade) de Blocos que faltaram para completar a capacidade total da vagoneta; e 1000 é o fator de conversão de unidade de blocos para milheiro.

Por outro lado, para a quantificação dos blocos crus secos (milheiro) em conformidade que foram para queima levou-se em consideração a equação a seguir (ver Eq. 12):

$$BCSQ = (BCUS - TBCSD) / 1000 \quad (12)$$

Na Eq. 12, o BCSQ significa os Blocos Crus Secos (milheiro) em conformidade que foram para a Queima; BCUS é o número de Blocos Crus Úmidos (unidade) em conformidade que foram para Secagem; TBCSD é o Total de Blocos Crus Secos Defeituosos e; 1000 é o fator de conversão de unidade de blocos para milheiro.

Por fim, a quantificação dos produtos (blocos de vedação cozidos) em conformidade, após a queima, no fim do processo produtivo adotou-se a seguinte equação (ver Eq. 13):

$$TPP = (BCSQ - TPD) / 1000 \quad (13)$$

Na Eq. 13, o TPP significa o Total (milheiro) de Produtos Produzidos em conformidade; o BCSQ é o número Blocos Crus Secos (milheiro) em conformidade que foram para a Queima; TPD é o Total (unidade) de Produtos Defeituosos gerados na queima e; 1000 é o fator de conversão de unidade de blocos para milheiro.

2.5 Quantificação de retroações (reúso)

Para quantificar os reúsos dos resíduos sólidos gerados nos processos de alimentação, desintegração, laminação (1 e 2), extrusão, corte, agrupamento e secagem artificial foi considerada a seguinte equação (ver Eq. 14):

$$RR = \sum R \quad (14)$$

Na Eq. 14, o RR significa a quantidade de resíduos reutilizados; $\sum R$ é a soma dos resíduos sólidos gerados nos processos.

Já para quantificar os reúsos de água residual presentes nos resíduos sólidos gerados no processo de corte (rebarbas) levou-se em consideração a equação a seguir (ver Eq. 15):

$$RAR = \sum AR \quad (15)$$

Na Eq. 15, o RAR significa a quantidade (l) de água residual presente nos resíduos sólidos reutilizados; $\sum AR$ é a soma da água residual gerada no processo.

2.6 Definição dos processos de maior geração de resíduos sólidos e desperdícios de insumos, aspirando a identificação de oportunidades para minimização dos resíduos

Para a definição dos processos de maior geração de resíduos sólidos foram considerados as maiores quantidades (t) de resíduos sólidos gerados e de porcentagem de desperdícios de insumos dos processos ao longo da produção. Em seguida, definiu-se o percentual de ineficiência de consumo de insumos no processo, adotando-se a seguinte equação (ver Eq. 16):

$$I\% = (QD / QE) \times 100 \quad (16)$$

Na Eq. 16, o I% significa o percentual de ineficiência de consumo de insumos no processo; QD é a quantidade de desperdício do insumo que entrou no processo; QE é a quantidade do insumo que entrou no processo; e 100 é o fator de conversão da unidade do insumo desperdiçado para porcentagem.

Após as etapas apresentadas e descritas, a próxima seção demonstrará os resultados e discussão deste estudo.

3. Resultados e discussão

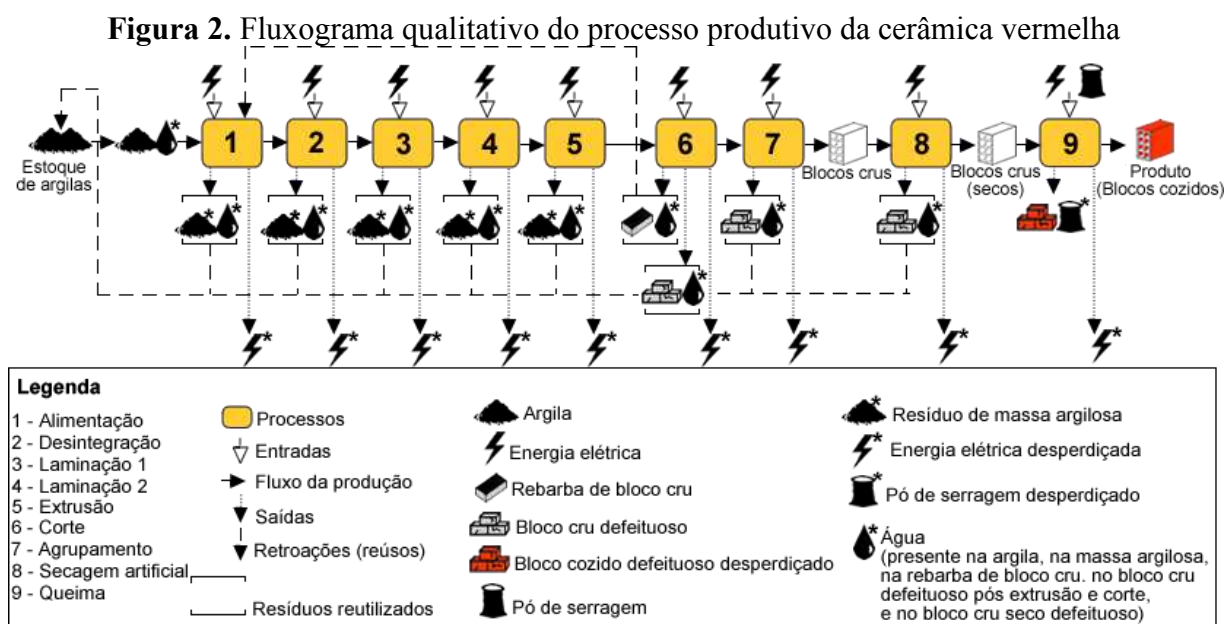
A partir do estudo do processo produtivo e da identificação dos resíduos sólidos e desperdícios gerados ao longo da produção de blocos cerâmicos da Vilar Produtos Cerâmicos, aplicando a metodologia de implementação de técnicas de P+L do CNTL do SENAI apresenta-se os resultados e realiza-se uma ampla discussão, considerando os fundamentos teóricos adotados. O diagnóstico, iniciou-se com uma entrevista informal com o administrador da empresa, visando levantar dados sobre a empresa, como nome, localização, quantidade e escala de trabalho dos funcionários e aspectos relacionados ao processo produtivo e aos insumos utilizados (APÊNDICE C).

Isto posto, pode-se dizer que a cerâmica apresenta um bom nível de desenvolvimento tecnológico, tendo em vista que em todos os processos há utilização de máquinas que contribuem para a automação ao longo da produção. No tocante à questão ambiental, observa-se que a empresa adota uma abordagem reativa, isto é, preocupa-se em reagir, principalmente,

para atender aos requisitos ambientais legais aplicados aos seus negócios por meio de alvará de funcionamento da prefeitura, habite-se do corpo de bombeiros e de licenças ambientais, como a Licença de Operação (LO) emitida pelo órgão ambiental estadual, o Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (IDEMA). A respeito da questão da qualidade de seus produtos, ressalta-se que a cerâmica tem sido proativa, ou seja, com iniciativa, uma vez que aderida ao PSQ, a indústria combate à não conformidade de seus produtos, contribuindo para atender todas as dimensões definidas como padrão do setor. Após essa apresentação da situação geral da empresa, demonstra-se, logo em seguida, o fluxograma qualitativo do processo produtivo da Vila Produtos Cerâmicos.

3.1 Elaboração do fluxograma qualitativo do processo produtivo

O processo produtivo da cerâmica investigada inicia-se com o estoque de argilas a céu aberto, depois as matérias-primas seguem para serem misturadas entre si com adição de água formando uma massa argilosa. Essa massa entra na alimentação e é distribuída para os demais processos da indústria, conforme visualizado no fluxograma qualitativo do processo produtivo (Figura 2).



Fonte: elaborado pelo próprio autor (2017).

Sendo assim, observou-se *entradas* de argila e água no processo de alimentação (1), de energia elétrica em todos os processos (1 a 9) e de pó de serragem somente na queima (9). Em relação as *saídas* constatou-se a geração de massa argilosa (resíduo que cai das esteiras entre os processos de alimentação a extrusão) e água residual da alimentação a extrusão (1 a 5), de rebarbas de blocos crus e água residual no corte (6), de blocos crus defeituosos e água residual do corte ao agrupamento (6 e 7), de blocos crus secos e água residual na secagem (8), de blocos cozidos defeituosos e pó de serragem desperdiçado na queima (9), de energia elétrica desperdiçada em todos os processos (1 a 9), de blocos crus em conformidade no agrupamento (7), de blocos crus secos em conformidade na secagem artificial (8), e por fim, de blocos cozidos em conformidade após a queima (9). Sobre as retroações, verificou-se reusos de resíduos sólidos para o estoque de argilas e para o processo de alimentação (1). No estoque de argilas, foram reutilizados resíduos gerados entre os processos de alimentação a secagem artificial (1 a 8), e no processo de alimentação (1) foram reutilizados rebarbas de blocos crus gerado do corte (6).

Após a visualização e conhecimento do fluxograma do processo produtivo da cerâmica vermelha, partiu-se para a quantificação de entradas, saídas e retroações (reúso) da produção, conforme será demonstrado nas próximas seções.

3.2 Quantificação de entradas, saídas e retroações (reúso)

Em relação a quantificação de entradas, saídas e retroações (reúso), primeiro, apresenta-se a quantidade de entradas de insumos dos processos produtivos durante o ciclo de produção, onde se verificou um consumo total de 51,153t de argila, de 8.184,5l de água, de 4.221,42 kWh de energia elétrica e de 8,466t de pó de serragem, este último ocorrido somente na queima (Tabela 1).

Tabela 1. Quantificação de entradas de insumos durante o ciclo de produção

Processos	Argila (t)	Água (l)	Energia elétrica (kWh)	Pó de serragem (t)
Alimentação	51,153	8184,5	67,67	-----
Desintegração	51,046	8167,3	152,98	
Laminação 1 e 2	51,023	8165,3	382,46	
Extrusão	50,591	8096,1	1.826,10	
Corte (rebarbas)	49,791	7968,1	40,42	
Corte (blocos defeituosos)	46,498	7439,7		
Agrupamento	45,491	7280,1	109,80	
Secagem artificial	42,396	7224,4	1.016,46	
Queima	38,616	7066,0	625,54	8,466
TOTAL NA PRODUÇÃO	51,153	8184,5	4.221,42	8,466

Fonte: elaborado pelo próprio autor (2017).

A argila e a água foram insumos que entraram juntos no processo de alimentação e, à medida que se encaminharam para os outros processos, foram gradualmente diminuindo devido a geração de resíduos sólidos. Quanto ao consumo de energia elétrica, constatou-se que o processo de extrusão foi o mais consumista com 1.826,10kWh ou 43,14% do consumo total desse insumo na produção, pois a máquina extrusora era constituída de um motor que apresentou a maior potência na produção: 220.649,63w.

Diante disso, permite-se afirmar que a produção apresentou um consumo importante de argila e energia elétrica. Segundo o administrador da empresa, com base na venda mensal de blocos (1.100 milheiros), estimou-se um consumo de 2.695t de argila/mês na cerâmica, o que está acima da média das indústrias ceramista do RN que é de 1.300t/mês (SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICROS E PEQUENAS EMPRESAS, 2013). Quanto ao consumo de energia elétrica, atualmente, não há estudos no RN sobre o consumo do setor, mas estima-se no Brasil que o consumo médio é de 31.322 kWh/mês por empresa (SCHWOB, 2007). Na cerâmica Vilar, segundo dados da conta de energia elétrica fornecida pela COSERN, este valor, no ano de 2016, foi em média de 39.500 kWh/mês, ou seja, maior que a média nacional. O elevado consumo de argila e energia elétrica pode ser explicado devido as inovações tecnológicas adotadas na empresa, como a secagem artificial, que utiliza várias máquinas, como ventiladores exaustores, ajudando a aumentar a produtividade da empresa. Sobre o consumo de água, ocorrido na preparação da massa argilosa (mistura das argilas), não se pode inferir se houve um consumo relevante durante a produção, visto que, de um modo geral, o consumo pode variar muito nas cerâmicas em virtude de alguns fatores como os tipos de argilas e da realização ou

não de sazonalidade (SOARES, 2002). Por fim, o reúso de pó de serragem de serrarias e movelarias da região como combustível no processo de queima, se constituiu como um aspecto positivo na produção, pois tem evitado o consumo de lenha que, no RN, mensalmente, vem sendo por volta de 102.843m³ (SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICROS E PEQUENAS EMPRESAS, 2013).

Logo após a quantificação de entradas, elaborou-se a quantificação das saídas, isto é, a mensuração da quantidade de resíduos sólidos, água residual, de desperdícios de energia elétrica, de desperdício de pó de serragem e a quantidade produzida de blocos de vedação em conformidade, durante a produção. Desse modo, constatou-se um total de 12,537t de geração de resíduos sólidos e, por conseguinte, 1.118,5l de água residual. Além disso, o desperdício de energia elétrica totalizou 154,30kWh, e de pó de serragem foi de 0,142t de argila (blocos cozidos defeituoso) somente na queima. Por fim, após o ciclo de produção foram produzidos 38.616 blocos cozidos em conformidade (Tabela 2).

Tabela 2. Quantificação de saídas durante o ciclo de produção

Processos	Resíduos sólidos (argila em t)	Água residual (l)	Energia elétrica desperdiçada (kWh)	Pó de serragem desperdiçado (t)	Blocos produzidos (unidade)		
Alimentação	0,107	17,2	0,14	-----	-----		
Desintegração	0,013	2,0	0,04				
Laminação 1 e 2	0,423	69,2	3,24				
Extrusão	0,800	128,0	28,88				
Corte (rebarbas)	3,302	528,4	2,68				
Corte (blocos defeituosos)	0,998	159,6	0,87				
Agrupamento	0,348	55,7	0,84			41.280	
Secagem artificial	2,746	158,4	61,84			40.159	
Queima	3,780	0,0	55,78			0,142	38.616
TOTAL NA PRODUÇÃO	12,537	1118,5	154,30			0,142	38.616

Fonte: elaborado pelo próprio autor (2017).

Sobre a quantificação de saídas, destaca-se que a queima foi o processo que mais gerou resíduos sólidos na produção com 3,780t ou 1.543 blocos cozidos defeituosos de 2,450kg. O corte de rebarbas foi o de maior geração de água residual com 528,4l, em virtude da geração de 3,302t de rebarbas, o equivalente a 6.880 rebarbas de 4,5cm e 0,480kg. Já o processo de secagem artificial apresentou o maior desperdício de energia elétrica com 61,84kWh, o equivalente a 40,08% do total de desperdício desse insumo na produção.

Em relação aos resíduos sólidos gerados, ou seja, massa argilosa (resíduo que cai das esteiras entre os processos de alimentação a extrusão), rebarbas de blocos crus, blocos crus defeituosos, blocos crus secos defeituosos e os blocos cozidos defeituosos, caso não estejam contaminados, todos esses podem ser classificados, como resíduos não perigosos, quer dizer, não são considerados inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos ou patogênicos e, por isso, não oferecem riscos à saúde pública e ao meio ambiente (CARREIRO, et al., 2016).

Depois da quantificação de saídas, demonstra-se, por fim, a quantificação de retroações, ou seja, os reúsos de resíduos sólidos e de água residual presente nesses resíduos. Nesse sentido, verificou-se que foram reutilizados um total de 8,747t de argila e 528,4l de água, conforme demonstrado na Tabela 3.

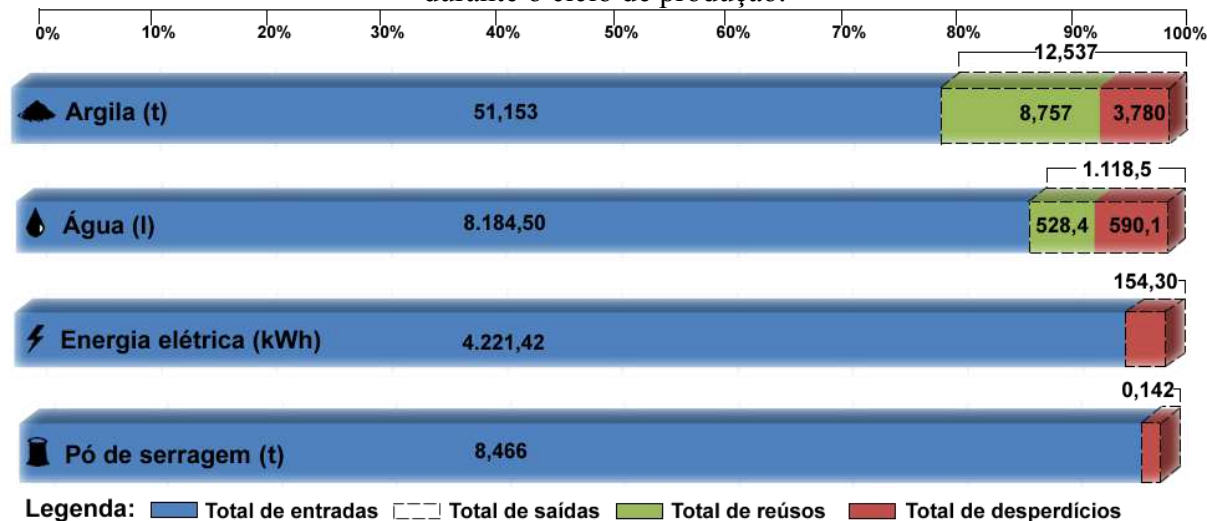
Tabela 3. Quantificação de retroações (reúso) durante o ciclo de produção

Processos	Resíduos sólidos reutilizados (argila em t)	Água residual reutilizada (l)
Alimentação	0,107	-----
Desintegração	0,013	
Laminação 1 e 2	0,423	
Extrusão	0,800	
Corte (rebarbas)	3,302	528,4
Corte (blocos defeituosos)	0,998	-----
Agrupamento	0,348	
Secagem artificial	2,746	
TOTAL NA PRODUÇÃO	8,747	528,4

Fonte: elaborado pelo próprio autor (2017).

O processo que mais gerou resíduo sólido reutilizado foi o de corte (rebarbas). Foram 3,302t de rebarbas reutilizadas no processo de alimentação, o que, por conseguinte, reutilizou 528,4l de água também nesse processo. Os demais processos geraram 5,454t de resíduos sólidos que foram reutilizados no estoque de argilas a céu aberto. Logo, a água residual presente nesse resíduo (590,1l) não foi contabilizado como reúso, pois esse insumo foi evaporado.

Para melhor visualização dos resultados, o gráfico da Figura 3, sumariza os totais da quantificação de entradas, saídas e retroações durante o ciclo de produção.

Figura 3. Gráfico do total de entradas, de saídas (resíduos sólidos e desperdícios) e de reúso durante o ciclo de produção.

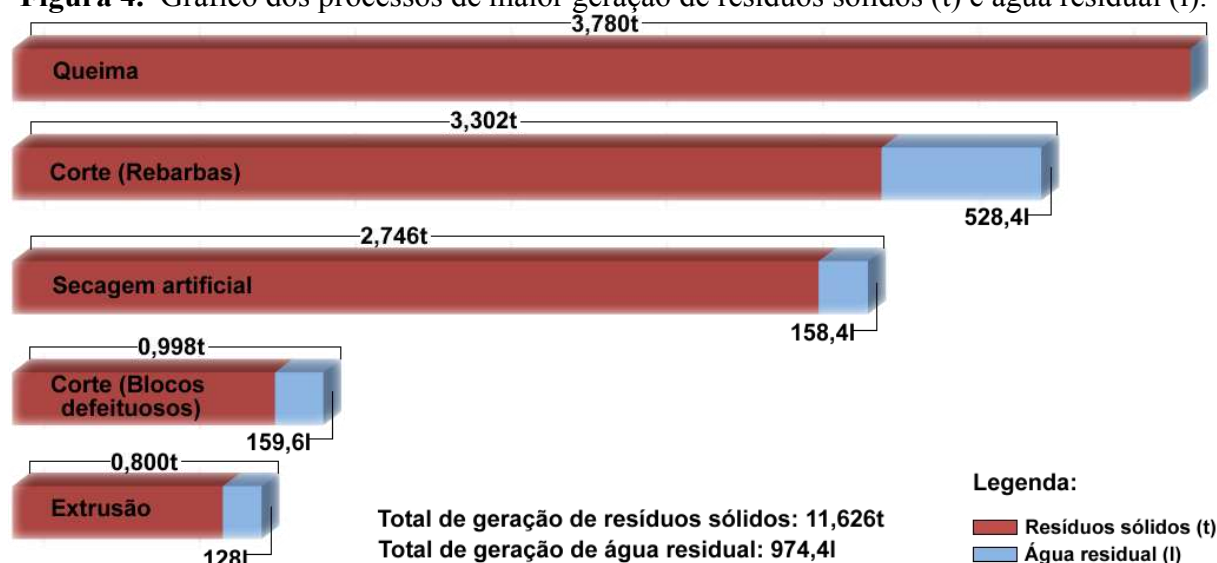
Fonte: elaborado pelo próprio autor (2017).

Portanto, o gráfico demonstra que a argila e, conseqüentemente, a água presente nessa matéria-prima, foram os insumos mais reutilizados, mas também, os de maiores desperdícios na produção de cerâmicos vermelhos da indústria investigada. Em seguida, vem o desperdício de energia elétrica e, finalmente, o desperdício de pó de serragem. Todos esses desperdícios verificados ao longo da produção foram causados pela geração de resíduos sólidos. A partir dessa quantificação das entradas, saídas e retroações (reúso) da produção, foi possível identificar os processos de maior geração de resíduos sólidos e desperdícios de insumos, o que será apresentado a seguir.

3.4 Processos de maior geração de resíduos sólidos e desperdícios de insumos e identificação de oportunidades para minimização dos resíduos

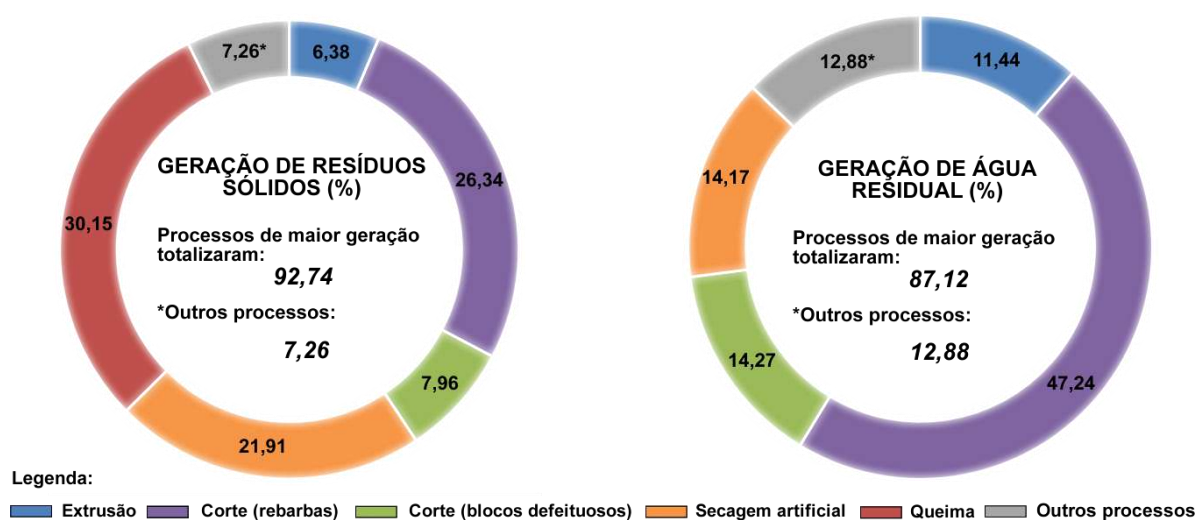
Constatou-se que, nesta ordem, queima, corte (rebarbas), secagem artificial, corte (blocos defeituosos) e extrusão, apresentaram a situação de maior geração de resíduos sólidos durante o ciclo de produção da cerâmica. Abaixo é apresentado o gráfico da quantidade de resíduos sólidos (t) e água residual (l) gerados nesses processos (Figura 4) e o gráfico da distribuição percentual dessas gerações (Figura 5).

Figura 4. Gráfico dos processos de maior geração de resíduos sólidos (t) e água residual (l).



Fonte: elaborado pelo próprio autor (2017).

Figura 5. Gráfico da distribuição percentual dos processos de maior geração de resíduos sólidos e água residual.

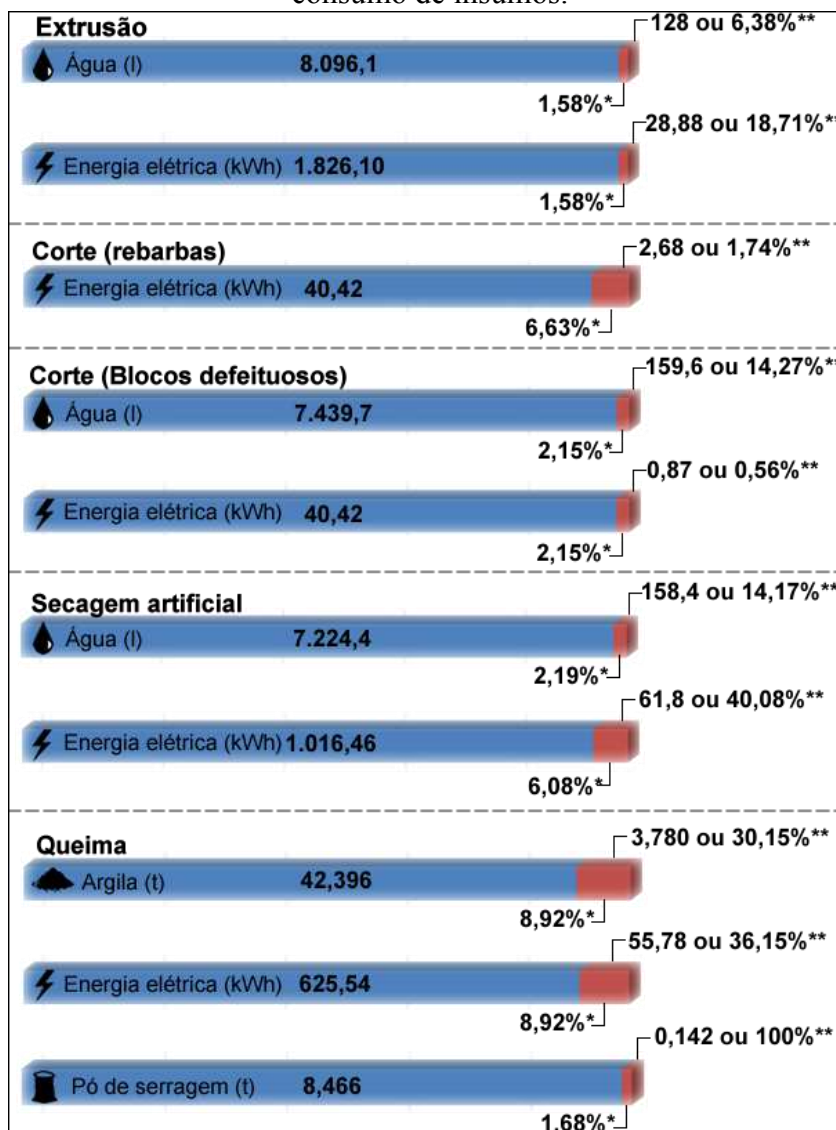


Fonte: elaborado pelo próprio autor (2017).

Juntos, observou-se que esses processos geraram 11,626t de resíduos sólidos (ou 92,74% do total de resíduos) e, conseqüentemente, 974,4l de água residual (ou 87,12% do total de água residual) durante o ciclo de produção. Por conseguinte, também foram os de maior geração de desperdícios com os maiores percentuais de ineficiência de consumo de insumos relativo ao

processo e à produção (Figura 6).

Figura 6. Processos de maior geração de desperdícios e percentuais de ineficiência de consumo de insumos.



Legenda:

■ Quantidade de insumos consumidos no processo

■ Quantidade de insumos desperdiçados no processo

*Percentual de ineficiência ou desperdício do insumo relativo ao processo

**Percentual de desperdício do insumo relativo à produção

Fonte: elaborado pelo próprio autor (2017).

A situação de desperdícios no processo de extrusão foi de 128l de água residual ou 6,38% relativos à produção e 28,88kWh de energia elétrica ou 18,71%. Em ambos, constatou-se uma ineficiência no consumo desses insumos de 1,58%. A causa dos desperdícios foi a geração de 0,800t de massa argilosa na extrusão, a qual foi reintroduzida no estoque de argilas a céu aberto, o que possibilitou o reúso da argila, contudo, a evaporação da água. O processo de extrusão pode ser a origem da maioria dos problemas de geração de resíduos sólidos de uma cerâmica vermelha (FACINCANI, 2002; TUBINO; BORBA, 2006; OLIVEIRA, 2011). Sobretudo, erros de confecção e regulagens da boquilha da extrusora pode ser a origem de 80% dos

problemas. Outros componentes da extrusora como sistema de vácuo, hélice, corta barro e camisas perfuradas, podem representar 10% dos problemas. Sendo assim, 90% de problemas de desperdícios por blocos defeituosos de uma cerâmica vermelha podem ser de origem mecânica (OLIVEIRA, 2011). Além disso, a presença de impurezas, como raízes e excesso de resíduos (areia), e a falta de homogeneização e distribuição de umidade no estoque de argilas, podem contribuir para a geração de resíduos como blocos crus defeituosos na extrusão, causando desperdícios de água e energia elétrica, além custo de retrabalho (ALMEIDA et al., 2009).

No processo de corte verificou-se uma situação de desperdício de 2,68kWh de energia elétrica ou 1,74% relativo à produção, mas 6,63% de ineficiência de consumo devido a geração de rebarbas, e de 159,6l de água (14,27%) e 0,87kWh de energia elétrica (0,56%). Ou seja, em ambos, o percentual de ineficiência de consumo destes insumos nesse processo foi de ou 2,15%, por causa da geração de blocos defeituosos. Problemas de geração de resíduos no processo de corte podem ser causados geralmente pelo: o afastamento incorreto entra a boquilha da extrusora e a máquina cortadeira, a qual deve ficar o mais distante possível para ajudar na acomodação de partículas da massa argilosa extrusada; o nivelamento da altura da máquina cortadeira em relação ao nível de altura da boquilha da extrusora, para evitar deformações na massa argilosa e; o amassamento dos blocos extrusados pelos roletes da máquina cortadeira, os quais, quando regulados, tem função de guiar os blocos extrusados para o corte (OLIVEIRA, 2011).

Na secagem artificial evidenciou-se uma situação de desperdícios de 158,4l de água ou 14,17%, relativos à produção, causando uma ineficiência de 2,19% no seu consumo e de 61,84 kWh de energia elétrica (o maior da produção, com 40,08%) com ineficiência de 6,08% no seu consumo. Esses desperdícios foram causados em virtude da geração de 2,746t de resíduos ou de 1.121 blocos secos defeituosos. Em especial, o desperdício de energia elétrica teve a contribuição do alto consumo desse insumo no processo (1.016,46 kWh), o qual tem utilizado máquinas quase que continuamente, como 10 ventiladores que consomem, cada qual, 44,66kWh, e 1 exaustor com consumo de 533,24kWh na produção. Ressalta-se que o principal problema dos blocos secos defeituosos gerados na secagem artificial foram trincas (Figura 7)

Figura 7. Bloco seco com trincas



Fonte: autoria própria(2016).

Trincas são pequenas fissuras que geralmente se iniciam nas bordas e propagam-se até o centro do bloco (TUBINO; BORBA, 2006). Elas surgem quando uma peça é submetida a secagem e/ou a queima (GOUVEIA; SPOSTO, 2009). Destaca-se que problemas de regulagens da

boquilha da extrusora respondem com cerca de 95% das origens de trincas que surgem nos processos de secagem e queima (OLIVEIRA, 2011). Mesmo após a regulagem da boquilha o ceramista deve estar atento a outros fatores que podem causar trincas nos blocos, como o uso de argila excessivamente plástica, a secagem muito rápida, a utilização de embudo – câmara de compressão na extremidade da extrusora também conhecida como acumulador - não adequado à plasticidade da mistura das argilas e a falta de espaçamento entre os blocos quando empilhados para queima (WIECK; FH, 2013).

Por fim, a queima foi o único processo em que se evidenciou uma situação de desperdício de argila por meio da geração de 3,780t de resíduos ou 1.543 blocos cozidos defeituosos (Figura 8), o que representou um percentual de 30,15% de desperdício desse insumo relativo à produção. Na queima constatou-se também o segundo maior desperdício de energia elétrica na produção, com 55,68kWh ou 36,15%. Portanto, verificou-se uma ineficiência de 8,92% no consumo de argila e também no consumo de energia elétrica nesse processo, representado as maiores ineficiências de consumo de insumos na produção. Como a queima foi o único processo que consumiu pó de serragem, 0,14t, só nela houve desperdício desse insumo chegando a um percentual de ineficiência de 1,68%.

Figura 8. Blocos cozidos defeituosos empilhados na parede do forno



Fonte: autoria própria(2016).

A queima é o processo onde se manifestam elevado número de defeitos, muitos originários dos processos anteriores da produção (OLIVEIRA, 2011). Nesse contexto, destaca-se que diferente dos outros processos, onde houve a reutilização dos resíduos sólidos, na queima os blocos cozidos defeituosos, não foram reutilizados na produção. Observou-se que esses resíduos têm sido utilizados na construção de portas para o forno, obras internas e nivelamento de terreno na indústria e o restante destinados no solo do terreno da indústria. Para serem reutilizados na produção, esses resíduos devem passar por moagem ou trituração, transformando-se em chamote, ou seja, partículas de material cerâmico inferiores a 4mm, e assim inseridos na mistura das argilas (CASAGRANDE et al., 2008; JUNIOR et al., 2013).

Diante dos resultados do estudo, permite-se afirmar que nos processos de extrusão, corte (rebarbas e blocos defeituosos) e secagem artificial, a empresa tem adotado técnica de P+L de Reúso ou Reciclagem Interna (RRI), por meio do reúso dos resíduos gerados nesses processos no estoque de argilas. No entanto, a ausência ou deficiência de técnicas com enfoque na redução na fonte para evitar ou reduzir a geração de resíduos, tem contribuído para os desperdícios de água e energia elétrica. Sendo assim, tais desperdícios, além de não agregar valor ao produto,

tem causado impactos adversos à empresa, como o aumento de custos na produção, e ao meio ambiente, como a intensificação da redução da disponibilidade de água e energia elétrica, uma vez que foram insumos consumidos, mas não convertidos em produtos por ineficiência nesses processos.

Desse modo, para os processos de extrusão, corte (rebarbas e blocos defeituosos) e secagem artificial, emergem oportunidades de utilizar técnicas de P+L de Boas Práticas Operacionais (BPO) que visam reduzir resíduos sólidos e desperdícios na fonte, a saber: análise da qualidade da argila na jazida, por meio da investigação do teor de resíduo (areia), manutenção preventiva das máquinas e treinamento para os funcionários (MACIEL; FREITAS, 2013). Além disso, para o processo de corte de rebarbas surge uma oportunidade de técnica de P+L, como a regulagem da cortadeira para cortar rebarbas com menor tamanho (de 4,5cm para 3,0cm), o que não comprometerá a qualidade dos blocos cortados e, certamente, reduzirá a geração de resíduos e desperdícios. Tais técnicas podem reduzir o consumo de argila, aumentando o tempo de vida útil das jazidas desse recurso natural, de energia elétrica e os custos de produção, contribuindo para a sustentabilidade da cerâmica vermelha objeto de estudo.

Quanto a queima, pode-se dizer que a empresa tem adotado técnicas de P+L de Mudanças de Matéria-Prima ou Insumos (MMPI), quando reutiliza o pó de serragem de outras indústrias, em detrimento da lenha, como combustível, e também, de Reúso ou Reciclagem Interna (RRI). Contudo, diferente dos outros processos, o resíduo gerado, os blocos cozidos defeituosos, têm sido reutilizados para outros fins não relacionados ao processo produtivo ou destinado no solo. Nesse sentido, a geração desses resíduos, tem contribuído para os desperdícios de argila, energia elétrica e pó de serragem, não agregando valor ao produto e causando impactos adversos à empresa, como o aumento de custos na produção, e ao meio ambiente, como a intensificação da redução da disponibilidade de argila, de água, de energia elétrica e de espaço no terreno da indústria.

Nesse cenário, para o processo de queima, uma provável oportunidade é a utilização de técnicas de P+L de Reúso ou Reciclagem Interna (RRI) associada com Mudanças de Matérias-Primas ou Insumos (MMPI), por meio da incorporação de chamote à massa argilosa. Além de reduzir o uso de argila e seu desperdício, a incorporação de chamote promove a reciclagem interna, diminui os impactos do descarte de resíduos ao meio ambiente e ajuda a melhorar as propriedades tecnológicas de produtos cerâmicos, tornando sua utilização economicamente viável na produção (FERNANDES et al., 2012; ZACCARON et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2016). Para isso, a empresa deverá investir na compra de máquina de moagem para triturar os blocos cozidos defeituosos e transformá-los em chamote. Logo, tais técnicas podem contribuir para a sustentabilidade da cerâmica vermelha investigada, pois, além de evitar a disposição inadequada de resíduos ao meio ambiente, ajuda a reduzir custos de produção e, sobretudo, o consumo de argila, aumentando o tempo de vida útil das jazidas desse recurso natural.

Percebe-se que a geração de resíduos sólidos e, conseqüentemente, os desperdícios de insumos têm sido uma preocupação da empresa, não só por causa de questões ambientais ou econômicas, mas, principalmente, em virtude da competitividade do mercado. De acordo com o administrador da empresa, com a atual crise econômica, algumas cerâmicas vermelhas da região têm reduzido a produção ou até mesmo abrindo falência. Contudo, outras, têm buscado inovações tecnológicas, como a construção de fornos mais eficientes e automação no processo produtivo. Para ele, não há barreiras para implementação de técnicas de P+L, principalmente, aquelas de Boas Práticas Operacionais (BPO) que geralmente são de baixo custo. Em contraponto, na atualidade, não tem sido possível, por exemplo, investir na compra de máquina de moagem para triturar os blocos cozidos defeituosos e transformá-los em chamote para ser incorporada à

argila, conclui ele.

4. Conclusões

Conclui-se, a partir do uso da metodologia de implementação da P+L do CNTL para diagnosticar a geração de resíduos sólidos e desperdícios de insumos, que o processo produtivo da Vilar Produtos Cerâmicos de Tangará-RN, apresentou uma situação de geração de resíduos sólidos e desperdícios, sobretudo, nos processos de extrusão, corte, secagem e queima. Nesses processos foram gerados 11,626t de resíduos sólidos (ou 92,74% do total de resíduos) e, conseqüentemente, 974,4l de água residual (ou 87,12% do total de água residual). Em consequência disso, comprovou-se que esses processos demonstraram ser os de maior ineficiência no consumo de argila, água, energia elétrica e pó de serragem.

Nos processos de extrusão, corte (rebarbas e blocos defeituosos) e secagem artificial, a empresa tem adotado técnica de P+L de Reúso ou Reciclagem Interna (RRI), por meio do reúso dos resíduos gerados nesses processos no estoque de argilas. Apesar disso, a geração de resíduos, tem contribuído para os desperdícios de água e energia elétrica. Por sua vez, na queima a empresa tem adotado técnicas de P+L de Mudanças de Matéria-Prima ou Insumos (MMPI), reutilizando o pó de serragem de outras indústrias, em detrimento da lenha, como combustível, e também, de Reúso ou Reciclagem Interna (RRI), reutilizando os blocos cozidos defeituosos para outros fins não relacionados ao processo produtivo. No entanto, parte desses blocos também tem sido descartados no solo. Portanto, a geração desses resíduos, tem contribuído para os desperdícios de argila, de energia elétrica e de pó de serragem. Em suma, os resíduos sólidos e desperdícios gerados na produção não agregam valor ao produto e causam impactos adversos à empresa, como o aumento de custos na produção, e ao meio ambiente, como a intensificação da redução da disponibilidade de argila, de água e energia elétrica.

Sendo assim, torna-se imperativo, para a indústria de cerâmica vermelha investigada, buscar implementar técnicas de P+L de baixo custo, como Boas Práticas Operacionais (BPO), quais sejam: análise da qualidade da argila na jazida, por meio da investigação do teor de resíduo (areia), manutenção preventiva das máquinas, treinamento para os funcionários e a regulação da cortadeira para cortar rebarbas com menor tamanho (de 4,5cm para 3,0cm). No futuro, quando numa situação mais favorável do ponto de vista econômico, sugere-se investir em técnicas de P+L de Reúso ou Reciclagem Interna (RRI) associada com Mudanças de Matérias-Primas ou Insumos (MMPI), por meio da incorporação de chamote à massa argilosa, sendo necessário a aquisição de máquina para realizar o trituração dos blocos cozidos defeituosos transformando-os em chamote.

Destaca-se que o estudo em pauta pode ter utilidade teórica e prática, servindo como um caminho para levantamento de trabalhos relacionados ao tema, mas também, como uma fonte metodológica que poderá ser aplicada ou adaptada em outras cerâmicas vermelhas. Ademais, a elaboração do presente diagnóstico para a Vilar Produtos Cerâmicos de Tangará-RN, pode contribuir, no futuro, como base para implementação de técnicas de P+L na empresa, trazendo benefícios ambientais, como o uso eficiente de recursos naturais e redução de resíduos sólidos e desperdícios, e benefícios econômicos, como a diminuição de custo na produção.

Referências

Almeida, E. P., Porto, L. R., Nóbrega, E. M. M. A. , Queiroga, A. F. F., Costa, I. 2009. Anais International Workshop Advances In Cleaner Production, São Paulo. Disponível em: <

<http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/4a/2/E.%20P.%20Almeida%20-%20Resumo%20Exp%20-%204A-2.pdf> . Acessado em novembro/2015.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2015, NBR 15270-1. Componentes cerâmicos Parte 1: blocos cerâmicos para alvenaria de vedação. Rio de Janeiro: ABNT.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente, 2015. Anuário estatístico do setor de transformação de não metálicos.
<http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1732813/Anu%C3%A1rio+Estat%C3%ADstico+do+Setor+de+Transforma%C3%A7%C3%A3o+dos+N%C3%A3o+met%C3%A1licos+2015.pdf/3ae38c3d-d37f-49cd-9586-bcef858914c6> Acessado em julho/2016.

Carreiro, M. E. A., Santos, R. C., Silva, V. J., Lira, H. L., Neves, G. A., Menezes, R. R. , Santana, L. N. L., 2016, Cerâmica 62 170-178.

Casagrande, E, M. C. Sartor, M. N. , Gomes, V., Della, V. P., Hotza D., Oliveira, A. P. N. Reaproveitamento de Resíduos Sólidos Industriais: Processamento e Aplicações no Setor Cerâmico, 2008. Cerâmica Industrial, v. 13, n. 1/2, p. 34-42.

Facincani, E. Coletânea de tecnologia cerâmica: cerâmica estrutural, 2002, 1º ed., Faenza Editor do Brasil, São Paulo.

Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG), 2013, Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica vermelha. Belo Horizonte, Disponível em:
http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/GUIAS_TECNICOS_AMBIENTAIS/guia_ceramica.pdf Acessado em novembro/2015.

Fernandes, P., Donadel, K., V. S., Nandi, Mantas, P., 2012. Cerâmica Industrial 17, 42-46.

Gil, A. C., 2008. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6.ed., Atlas, São Paulo.

Gouveia, F. P.; Sposto, R. M., 2009. Incorporação de chamote em massa cerâmica para a produção de blocos. Um estudo das propriedades físico-mecânicas. Cerâmica [online]. 336, 415-419.

Junior, M.F. H., Schwob, M. R. V., Rodrigues, J. A. P., 2013. Manual de eficiência energética na indústria de cerâmica vermelha. INT/MCTI, Rio de Janeiro.
 Limaverde, J. A., A indústria de cerâmica vermelha no Nordeste, 1983, 1º ed., BNB/ETENE, Fortaleza.

Maciel, D., Freitas, L., 2013. Revista Produção Online. 13, 1355-1380.

Microsoft. Excel. Version: 2013. Microsoft corporation , 2013. 1 DVD-ROM.

Ohno, T., 1997. Sistema toyota de produção: além da produção em larga escala. Bookman, Porto Alegre.

Oliveira, A. A., 2011. Tecnologia em cerâmica. Lara, Criciúma.

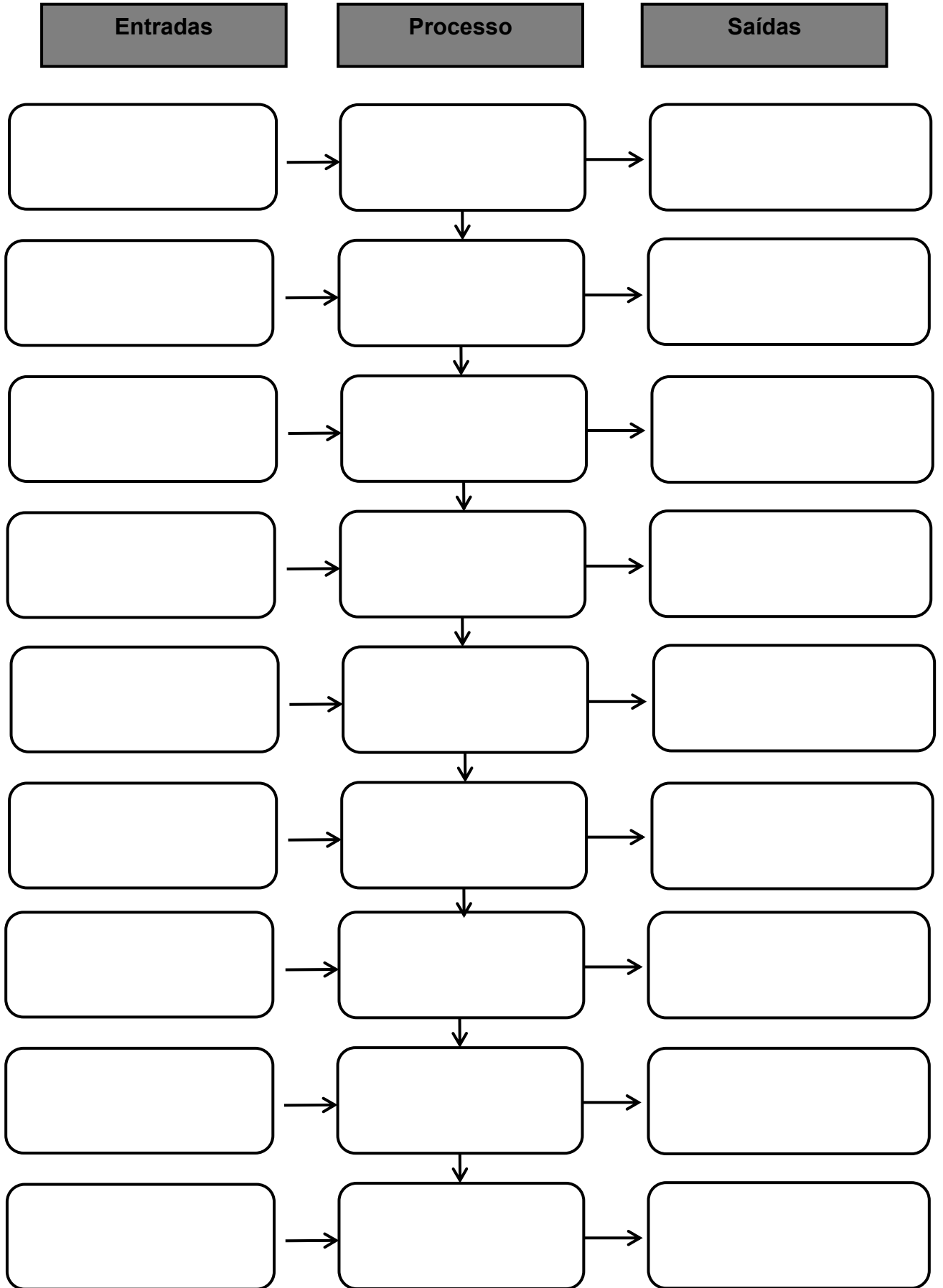
Oliveira, Y. L., Linhares Júnior, Z., Ancelmo L., Soares, R. A. L., 2016. Cerâmica Industrial. 21, 45-50.

- Schwob, M. R. V., Perspectivas de difusão do gás natural na indústria de cerâmica vermelha. 2007. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas do Rio grande do Norte (SEBRAE), 2013, Diagnóstico da indústria de cerâmica vermelha do Rio Grande do Norte. Relatório final. Natal.
- Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial do Rio Grande do Sul (SENAI), 2003 a. Implementação de programas de produção mais limpa, CNTL, Porto Alegre.
- Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial do Rio Grande do Sul (SENAI), 2003 b. Diagnóstico ambiental e de processo. CNTL, Porto Alegre.
- Silva, A. C. da, Pithon, A. J. C., Fernandes, J. L., dos Santos, L. M., 2014. Cerâmica. 60, 490-500.
- Tubino, L.C.B, Borba, P., 2006. Etapas do processo cerâmico e sua influência no produto final: massa, extrusão, secagem e queima. Dossiê Técnico, SENAI. Rio Grande do Sul.
- United Nations Environment Programme (UNEP), 2004. Guidance manual how to establish and operate cleaner production centres, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, Paris.
- United Nations Environment Programme (UNEP), 2016. Division of technology, industry, and economics. Sustainable consumption & production branch. Resource efficient and cleaner production. <http://www.unep.fr/scp/cp/> Acessado em julho/ 2016.
- Vergara, S. C., Projetos e relatórios de pesquisa em administração, 2009, 10º ed., Editora Atlas, São Paulo.
- Wieck, R., Fh, J. D., Extrusão em Cerâmica Vermelha: Princípios Básicos, Problemas e Soluções, 2014, . Cerâmica Industrial, v. 18, n. 3, p. 16-23.
- Yin, R. K., 2005. Estudo de caso: planejamento e métodos. 3 ed., Bookman, Porto Alegre.
- Zaccaron, A., Galatto, S. L., Nandi, V. S, Fernandes, P., 2014. Cerâmica Industrial 19, 33-39.
- Soares, S. R. Análise do ciclo de vida de produtos cerâmicos da indústria de construção Civil, 2002, In: anais xxviii congresso interamericano de engenharia ambiental e sanitária (aidis). Cancún - méxico,

APÊNDICE C – Formulário de coleta de dados primários da empresa

1. DADOS CADASTRAIS DO EMPREENDIMENTO				
Nome do Empreendimento – Razão Social			Inserir Logo marca	
Nome do Empreendimento – Nome Fantasia				
CNPJ / CPF	Inscrição Estadual			
Telefone	Fax		Celular	
E-mail		Home page		
Nome do Responsável				
Telefone	Fax	Celular	E-mail	
Situação do Empreendimento <input type="checkbox"/> Em atividade <input type="checkbox"/> Em implantação <input type="checkbox"/> Em ampliação ou reforma. Prazo de Conclusão: _____ <input type="checkbox"/> Previsão de ampliação. Quando será iniciado: _____ Quando será concluído: _____ <input type="checkbox"/> Previsão de mudança. Qual a previsão: _____ Para onde: _____				
Quanto tempo no mercado?				
O Empreendimento possui marca própria ? <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim. Especificar: _____				
2. LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO				
Endereço				Número
Bairro	CEP	Município		UF
Tipo de Vizinhança <input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Residencial <input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Mista – Industrial e Residencial <input type="checkbox"/> Mista – Industrial e Comercial <input type="checkbox"/> Mista – Residencial e Comercial <input type="checkbox"/> Outras: Especificar: _____				
3. IMÓVEL (m ²)				
Área Total		Área Construída para Administração		
Área do Terreno não Edificada		Área Construída para a Produção		
4. ESCALA DE TRABALHO				
Horário de Funcionamento		Número de Turnos de Trabalho em cada 24 horas		
Jornada de Trabalho		Produção		Administração
Diária (horas/dia)				
Mensal (dias/mês)				
Anual (Meses/ano)				
5. QUANTIDADE DE EMPREGADOS (Unidade)				
Descrição	Registrados	Terceirizados	Temporário	Outros/Familiar
Na Administração				
Na Produção				
Outros				
Total				

6. FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUTIVO



7. CARACTERÍSTICAS DA PRODUÇÃO			
7.1. CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO			
7.1.1. O Empreendimento Trabalha sob que Forma de Produção e qual o percentual?			
<input type="checkbox"/> Desenvolve sua própria linha de produtos _____% <input type="checkbox"/> Trabalha sob Encomenda _____%			
7.1.2. Especificar os três produtos mais comercializados			
7.2 DESCRIÇÃO DE TODOS OS PRODUTOS FABRICADOS PELO EMPREENDIMENTO			
Nome do Produto	Unidades Produzidas (produto)		
	Dia	Mês	Ano
7. CARACTERÍSTICAS DA PRODUÇÃO (Continuação)			
7.3 CONSUMO DE MATÉRIA-PRIMA (ARGILA) E INFORMAÇÕES SOBRE O PROCESSO PRODUTIVO			
1 Quanto tempo a argila fica estocada?			
2. Quantos tipos de argila são utilizados?			
3 Realiza a preparação ou mistura da argila?			
4. Possui caixão alimentador?			
5. Possui desintegrador?			
6. Possui laminador?			
7 Possui extrusora ou maromba?			
8 Qual o tipo de secagem?			
9 Qual o Tempo estimado para secagem?			
10 Tipo de forno utilizado?			
11 Há procedimento para controle de qualidade dos produtos?			
7. CARACTERÍSTICAS DA PRODUÇÃO (Continuação)			
7.5 CONSUMO DE ÁGUA			
7.5.1 Fonte de abastecimento			
Descrição da Fonte	Quantidade consumida (m ³)		
	Diário	Mensal	Anual
Rede Pública (CAERN)			
Captação Própria – Água Superficial (rios, lagos ou lagoas)			
Captação Própria – Água Subterrânea (Poço)			
Outras Fontes (*)			
(*) Especificar:			
Preço pago pela água (MÉDIA DOS ÚLTIMOS 3 MESES) (R\$)			
7.5.2 Tratamento da Água			
<input type="checkbox"/> Sim* <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Já tratada pela Sistema Público (CAERN)			
(*) Especificar que Tipo de tratamento:			
7.5.3 Consumo da Água			
Descrição	Consumo Dia (m ³)	Descrição	Consumo Dia (m ³)
Uso no Processo Produtivo		Abastecimento da Caldeira	
Circuito Fechado de Resfriamento		Circuito Fechado de Resfriamento	
Uso em banheiros, copa, cozinha, consumo de água dos funcionários			
Outros (*)		(*) Especificar:	

Especificar as etapas que consomem água:				
7.6 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA				
Descrição da Fonte	Quantidade Consumida (Kwh)			
	Diária	Mensal	Anual	
Rede Pública (COSERN)				
Fonte Própria e/ou outras (*)				
(*) Especificar fonte energética:				
Especificar fontes de consumo de eletricidade (Processo, administração e outros):				
Preço pago pela energia (MÉDIA DOS ÚLTIMOS 3 MESES) (RS)				
7.7 CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS				
Descrição da Fonte	Quantidade Consumida (Unid. usual)			
	Diária	Mensal	Anual	
Gás Natural				
Óleo combustível				
Carvão				
Lenha				
Serragem				
Outros*				
(*) Especificar fonte:				
Especificar fontes de consumo de combustível (Processo, administração e outros):				
Preço pago pelo combustível (MÉDIA DOS ÚLTIMOS 3 MESES) (RS)				
7.8. ADEQUAÇÃO AMBIENTAL (Marque com X)				
Instrumentos	Não	Em Tramitação	Sim	Desconhece
Licença Ambiental				
Alvará da Prefeitura				
Habite-se do Corpo de Bombeiros				

Fonte: adaptado de Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (2003b).

APÊNDICE D – Informações padrões de entradas e saídas do ciclo de produção (7 dias)

Entradas/saídas	Processo	Massa (kg)*	Umidade (l)*	Umidade (%)*
Argila	Alimentação	0,100	0,016	16
Bloco cru	Extrusão	2,900	0,450	15,52
Rebarba de bloco cru (4,5 cm)	Corte	0,480	0,074	15,52
Bloco cru seco	Secagem artificial	2,600	0,150	5,77
Bloco cozido	Queima	2,450	0,0	0,0
Saco de pó de serragem	Queima	17	0,0	0,0

Legenda: *valor médio durante o ciclo de produção, 7 dias.

Fonte: autoria própria (2017).

APÊNDICE E – Quantidade de máquinas, motores e suas potências

Processo	Máquina	Quantidade de motores	Potência total (w)	Tempo de uso (h/ciclo de produção de 7 dias)	Potência total (kWh/ciclo de produção de 7 dias)
Alimentação	Caixão alimentador	2	7.354,99	8	58,84
	Esteira 1	1	1.103,25	8	8,83
Desintegração	Desintegrador	2	18.387,47	8	147,10
	Esteira 2	1	735,50	8	5,88
Laminação	Laminador 1	2	22.064,96	8	176,52
	Esteira 3	1	1.103,25	8	8,83
	Laminador 2	2	23.535,96	8	188,29
	Esteira 4	1	1.103,25	8	8,83
Extrusão	Bomba de vácuo	1	7.354,99	8	58,84
	Extrusora	2	220.649,63	8	1765,20
	Esteira 5	1	257,42	8	2,06
Corte	Cortadeira	1	1.103,25	8	8,83
	Esteira 6	2	1.007,63	8	8,06
	Acelerador	2	2.942,00	8	23,54
Agrupamento	Mesa agrupadora	2	1.956,43	8	15,65
	Esteira 7	1	551,62	8	4,41
	Esteira 8	1	735,50	8	5,88
	Torre de automação	6	7.722,74	8	61,78
	Corrente transportadora	1	551,62	8	4,41
	Transportador de vagoneta 1	2	2.942,00	6	17,65
Secagem	Ventilador 1	1	1.471,00	29	42,66
	Ventilador 2	1	1.471,00	29	42,66
	Ventilador 3	1	1.471,00	29	42,66
	Ventilador 4	1	1.471,00	29	42,66
	Ventilador 5	1	1.471,00	29	42,66
	Ventilador 6	1	1.471,00	29	42,66
	Ventilador 7	1	1.471,00	29	42,66
	Ventilador 8	1	1.471,00	29	42,66
	Ventilador 9	1	1.471,00	29	42,66
	Ventilador 10	1	1.471,00	29	42,66
	Autoviajante	1	735,50	29	21,33
	Exaustor 1	1	1.8387,47	29	533,24
	Transportador de vagoneta 2	2	2.942,00	12	35,30
Queima	Alimentador de pó de serragem 1	1	367,75	63	23,17
	Alimentador de pó de serragem 2	1	367,75	63	23,17
	Alimentador de pó de serragem 3	1	367,75	63	23,17
	Exaustor 2	1	8.825,99	63	556,04

Fonte: autoria própria (2017).

APÊNDICE F – Dados de entradas e saídas da produção

1. ENTRADAS NA SECAGEM		
VAGONETA	CAPACIDADE (BLOCOS)	DEFICITS (Nº DE BLOCOS NÃO CONFORMES)
1	560	0
2	560	0
3	560	0
4	560	0
5	560	0
6	560	0
7	560	0
8	560	0
9	560	0
10	560	0
11	560	0
12	560	0
13	560	0
14	560	80
15	560	0
16	560	0
17	560	0
18	560	0
19	560	0
20	560	0
21	560	0
22	560	0
23	560	0
24	560	0
25	560	0
26	560	0
27	560	0
28	560	0
29	560	0
30	560	0
31	560	0
32	560	0
33	560	0
34	560	0
35	560	0
36	560	0
37	560	0
38	560	80
39	560	0
40	560	0
41	560	0

42	560	0	
43	560	0	
44	560	0	
45	560	0	
46	560	0	
47	560	0	
48	560	0	
49	560	0	
50	560	0	
51	560	0	
52	560	0	
53	560	0	
54	560	0	
55	560	0	
56	560	0	
57	560	0	
58	560	0	
59	560	0	
60	560	0	
61	560	0	
62	560	0	
63	560	0	
64	560	0	
65	560	0	
66	560	0	
67	560	0	
68	560	0	
69	560	0	
70	560	0	
71	560	0	
72	560	0	
73	560	0	
74	560	0	
SUBTOTAL	41440	160	
TOTAL	41280		
2. ENTRADAS NA QUEIMA			
DATA	HORA	LINHAS DO FORNO	QUANTIDADE DE SACOS DE PÓ DE SERRAGEM CONSUMIDOS
11/05/2016	07:00	1	0
11/05/2016	14:00	2	9
11/05/2016	15:00	3	6
11/05/2016	17:30	4	5
11/05/2016	21:30	5	12
11/05/2016	22:30	6	12
11/05/2016	23:00	7	11

11/05/2016	00:00	8	10
12/05/2016	01:00	9	11
12/05/2016	02:00	10	11
12/05/2016	06:00	11	13
12/05/2016	07:00	12	14
12/05/2016	08:00	13	10
12/05/2016	09:00	14	12
12/05/2016	10:00	15	15
12/05/2016	11:00	16	17
12/05/2016	12:00	17	20
12/05/2016	13:00	18	18
12/05/2016	14:00	19	19
12/05/2016	15:00	20	22
12/05/2016	16:00	21	23
12/05/2016	17:30	22	20
12/05/2016	21:30	23	14
12/05/2016	22:30	24	12
12/05/2016	23:30	25	12
13/05/2016	01:00	26	12
13/05/2016	02:00	27	13
13/05/2016	03:00	28	10
13/05/2016	04:00	29	12
13/05/2016	05:00	30	13
13/05/2016	06:00	31	11
13/05/2016	07:00	32	10
13/05/2016	08:00	33	11
13/05/2016	22:00	34	10
13/05/2016	23:00	35	10
14/05/2016	00:00	36	10
14/05/2016	01:00	37	10
14/05/2016	02:00	38	13
14/05/2016	03:00	39	11
14/05/2016	04:00	40	14
TOTAL			624
3. SAÍDAS NA SECAGEM			
VAGONETA		QUANTIDADE DE BLOCOS NÃO CONFORMES	
1		4	
2		11	
3		13	
4		5	
5		8	
6		1	
7		15	
8		21	
9		4	

10	18
11	4
12	0
13	16
14	2
15	2
16	5
17	0
18	4
19	5
20	0
21	41
22	2
23	4
24	19
25	20
26	21
27	39
28	1
29	0
30	9
31	53
32	29
33	2
34	0
35	2
36	3
37	61
38	2
39	2
40	3
41	1
42	7
43	17
44	5
45	6
46	1
47	5
48	30
49	4
50	0
51	3
52	1
53	61
54	46

55	0
56	68
57	6
58	4
59	2
60	0
61	0
62	3
63	121
64	11
65	4
66	66
67	144
68	2
69	2
70	3
71	10
72	26
73	7
74	4
TOTAL	1121

4. SAÍDAS NA QUEIMA

DATA	HORA	LINHAS DO FORNO	QUANTIDADE DE BLOCOS NÃO CONFORMES
14/05/2016		2	0
14/05/2016		3	4
14/05/2016		4	32
14/05/2016		5	53
14/05/2016		6	5
14/05/2016		7	10
14/05/2016		8	10
16/05/2016		9	49
16/05/2016		10	96
14/05/2016		18	35
14/05/2016		19	35
16/05/2016		20	180
16/05/2016		21	127
16/05/2016		22	147
16/05/2016		23	107
16/05/2016		24	44
16/05/2016		25	17
16/05/2016		30	75
16/05/2016		31	70
16/05/2016		32	35

16/05/2016		33	23
16/05/2016		34	57
16/05/2016		35	92
16/05/2016		36	92
16/05/2016		37	14
16/05/2016		38	15
16/05/2016		39	27
16/05/2016		40	92

5. TOTAL DE SAÍDAS NA PRODUÇÃO

PROCESSO	Kg	ton	QTD POR TIJOLO	MILHEIRO	ÁGUA (L)	SERRAGEM (ton)
MISTURA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	
ALIMENTAÇÃO	107,20	0,11	43,76	0,04	17,2	
DESINTEGRAÇÃO	12,60	0,01	5,14	0,01	2,0	
INSPEÇÃO	10,00	0,01				
LAMINAÇÃO	432,40	0,43	176,49	0,18	69,2	
EXTRUSÃO	800,00	0,80	326,53	0,33	128,0	
CORTE (REBARBA)	3302,40	3,30	1347,92	1,35	528,4	
CORTE	997,60	1,00	407,18	0,41	159,6	
AGRUPAMENTO	348,00	0,35	142,04	0,14	55,7	
SECAGEM						
INSPEÇÃO	2746,45	2,75	1121,00	1,12	158,4	
QUEIMA						0,14
INSPEÇÃO	3780,35	3,78	1543,00	1,54	0,0	
TOTAL	12537,00	12,54	5117,14	5,12	2005,9	0,142

Fonte: autoria própria (2017).

ANEXO A – Carta de aceite para publicação na revista cerâmica
Cerâmica - ISSN-0366-6913 www.scielo.br/ce
órgão oficial da Associação Brasileira de Cerâmica

S. Paulo, 22 de fevereiro de 2017

Referência: 2173

Título: Produção mais limpa: contributos teórico-práticos para a sustentabilidade da cerâmica vermelha
(Cleaner production: practical and theoretical contributions for the sustainability of the red ceramic)

Autores: R. G. da Silva, V. P. da Silva

Recebido..11/10/2016..Revisado..02/12/2016..22/02/2017..Aceito..22/02/2017..

Este artigo foi **aceito** para publicação. Após edição do texto, será programado para um dos próximos números da revista **Cerâmica**.

Agradecemos a colaboração.

Atenciosamente,

Editoria Científica.
 Cerâmica

Editores Associados (Associate Editors)

**Editor Principal
 (Principal Editor)**

H. N. Yoshimura
 CECS - UFABC
 Av. dos Estados, 5001
 Santo André, SP 09210-580
humberto.yoshimura@ufabc.edu.br
ceram.abc@gmail.com

D. Z. de Florio
 CECS - UFABC
 Av. dos Estados, 5001
 Santo André, SP 09210-580
daniel.florio@ufabc.edu.br

D. Gouvêa
 PMT - EP - USP
 Av. Prof. Mello Moraes,
 2463
 São Paulo, SP 05508-030
dgouvea@usp.br

F. M. B. Marques
 DEMaC - Univ. Aveiro
 Aveiro 3810-193
 Portugal
fmarques@ua.pt

A. E. Martinelli
 DEMat - CT - UFRN
 Campus Lagoa Nova s/n
 Natal, RN 59072-970
martinelli.ufrn@gmail.com

R. Salomão
 SMM - EESC - USP
 Av. João Dagnone, 1100
 São Carlos, SP 13563-
 120
rsalomao@sc.usp.br

A. M. Segadães
 DEMaC - Univ. Aveiro
 Aveiro 3810-193
 Portugal
segadaes@ua.pt

Conselho de Editores (Editorial Board)

Acchar W. - UFRN - RN
 Berg E.A.T. - PR
 Bergmann C.P. - UFRGS - RS
 Bezerra U.T. - IFPB - PB
 Bressiani A.H.A. - IPEN - SP
 Ferreira H.C. - UFSCG - PB
 Holanda J.N.F. - UENF - RJ
 Hotza D. - UFSC - SC
 Kiminami R.H.G.A. - UFSCar - SP
 Lameiras F.A. - CDTN - MG
 Longo E. - UNESP - SP
 Melo D.M.A. - UFRN - RN
 Muccillo E.N.S. - IPEN - SP
 Muccillo R. - IPEN - SP

Nascimento R.M. - UFRN - RN
 Pandolfelli V.C. - UFSCar - SP
 Pianaro S.A. - UEPG - PR
 Pulcinelli S.H. - UNESP - SP
 Resende W.S. - IBAR - SP
 Riella H.G. - UFSC - SC
 Rodrigues J.A. - UFSCar - SP
 Santilli C.V. - UNESP - SP
 Santos I.M.G. UFPPB - PB
 Silva C.R.M. - UNB - DF
 Souza D.P.F. - UFSCar - SP
 Vasconcelos W.L. - UFMG - MG
 Vieira C.M.F. - UENF - RJ
 Zanotto E.D. - UFSCar - SP

Baptista J.L. - Univ. Aveiro - Portugal
 Bradt R.C. - Univ. Alabama - USA
 Carda J.B. - Univ. Castellón - Spain
 Castro M.S. - Univ. Mar del Plata - Argentina
 Castro R.H.R. - Univ. California, Davis - USA
 Fernandez J.F. - ICV-CSIC - Spain
 Greil P. - F-Alexander-U. Erlangen - Germany
 Prado F.D. - Univ. Nacional del Sur - Argentina
 Sin A. - Pirelli Labs - Italy
 Steil M.C. - Univ. Grenoble Alpes - France
 Traversa E. - KAUST - Saudi Arabia
 Velez M. - Univ. Missouri-Rolla - USA

Editores Principais Anteriores (Previous Principal Editors): P. S. Santos (*in memoriam*); R. Muccillo (1997-2015)

ANEXO B – Revista interciência



Revista de Ciencia y Tecnología de América Inglés | Português

Nota: Este sitio web debe ser visualizado con Mozilla Firefox.
Para descargarlo haz clic [AQUI](#).
El uso de otro navegador puede generar errores.

Asociación Inter ciencia
Arte de las Américas
Cuerpo Editor
Indizaciones
Créditos
Respaldo Económico

La revista Inter ciencia es una publicación multidisciplinaria mensual de la Asociación Inter ciencia, asociación civil sin fines de lucro con sede en Caracas, Venezuela.

Inter ciencia está consagrada a estimular la investigación científica, su uso humanitario y el estudio de su contexto social, especialmente en América Latina y el Caribe, así como a fomentar la comunicación entre las comunidades científicas y tecnológicas de América.

Todos los artículos firmados son responsabilidad de sus autores y no de la Asociación Inter ciencia, ni de la revista o de las Instituciones a las cuales pertenecen los firmantes.

[Instrucciones a los Autores](#) **CONTENIDO** [Suscripciones](#)

© 2000, INTERCIENCIA
ISSN 0378-1844
Depósito Legal pp. 197602DF 849
Contáctenos@

