

DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id5934>

ARTIGO ORIGINAL

SUBMETIDO 12/05/2021

APROVADO 10/09/2021

PUBLICADO ON-LINE 09/10/2021

PUBLICADO 30/03/2023

EDITORA ASSOCIADA
Luzia Góes Camboim

A modelagem de processos como apoio à identificação de problemas de qualidade em uma indústria de cerâmica vermelha

 Mateus Mota Manhães
Pedrosa dos Santos ^{[1]*}

 Simone Vasconcelos Silva ^[2]

 Cristine Nunes Ferreira ^[3]

 Alline Sardinha
Cordeiro Morais ^[4]

[1] mateusmpedrosa@gmail.com

[2] simonevs@iff.edu.br

[3] crisnfer@iff.edu.br

[4] amorais@iff.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia Fluminense (IFF), Brasil

RESUMO: O setor cerâmico tem uma parcela significativa na economia brasileira, contribuindo para a geração de empregos, renda e movimentação do setor de construção civil. No entanto, diversas cerâmicas são, na grande maioria, compostas por pequenas empresas que carecem de tecnologia e conhecimento na gestão de seus processos, que, geralmente, são realizados de modo empírico. Tendo em vista a necessidade do gerenciamento de processos para aumentar a eficiência das atividades e possibilitar a redução da quantidade de produtos disformes, este trabalho tem como objetivo propor a modelagem do processo de fabricação de tijolos cerâmicos, verificando sua aderência na cerâmica utilizada como estudo de caso, além de propor soluções para os problemas mais recorrentes. Para atender esse objetivo, foi realizado um estudo bibliográfico sobre gerenciamento de processos de negócio: a fabricação da cerâmica vermelha e a utilização da notação *Business Process Modeling Notation* (BPMN) como apoio para a modelagem do processo de fabricação. Entre os resultados obtidos, cita-se a necessidade de formalização do processo utilizado pela cerâmica estudada, a conformidade com o processo modelado, a identificação das causas dos problemas de coloração do produto após a queima, trincas, quebras e a proposição de soluções, visando aumentar a produtividade da cerâmica.

Palavras-chave: cerâmica vermelha; disformidade; modelagem de processos.

Process modeling as a support for the identification of quality problems in a red ceramic manufacturing company

ABSTRACT: The ceramic sector has an important participation in the Brazilian economy, contributing to job creation, income and movement of the civil construction sector. However, ceramics are mostly composed of small companies that lack technology and knowledge in managing their processes which are mostly empirical. In view of the need for process management to increase the

*Autor para correspondência.

efficiency of activities and enable the reduction of the amount of deformed products, this work aims to propose the modeling of the ceramic brick manufacturing process, verifying its adherence in a ceramic used for case study, in addition to proposing solutions to the most recurring problems. To reach this objective, a bibliographic study was conducted on business process management, the manufacture of red ceramics and the use of Business Process Modeling Notation (BPMN) to support the modeling of the manufacturing process. Among the results obtained, there is a need to formalize the process used by the studied ceramic, the conformity with the modeled process, the identification of the causes of product coloring problems after firing, cracks, breaks and the proposition of solutions of these problems, aiming to increase the productivity of ceramics.

.....
Keywords: *clay ceramic; disformity; process modeling.*

1 Introdução

As atividades da indústria cerâmica têm uma parcela significativa na economia brasileira, sendo o Brasil o segundo maior produtor e consumidor de revestimentos cerâmicos. Com isso, o setor contribui para o desenvolvimento econômico ao gerar cerca de 293 mil empregos diretos, 900 mil empregos indiretos e um faturamento anual de R\$ 18 bilhões, distribuídos em nove áreas de atuação, classificadas de acordo com a matéria-prima, propriedades e áreas de utilização, sendo estas: cerâmica vermelha; materiais de revestimento; cerâmica branca; materiais refratários; isolantes térmicos; fritas e corantes; abrasivos; vidro, cimento e cal; e cerâmica avançada (ANICER, 2021).

Apesar da diversidade, o segmento de cerâmica vermelha concentra o maior número de produtores, em geral, composto por produtores familiares e empresas de pequeno porte, que, em sua grande maioria, não possuem formalização de estudo na área de atuação. Estes, entretanto, aprendem a gerir o negócio com a experiência prática, o que resulta em empresas com pouca inovação tecnológica, processos produtivos ultrapassados e, em grande parte, sem aplicação de conceitos de gestão de qualidade, controle e melhoria (BRAGA; SANTOS; SALES, 2016).

Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo propor a modelagem do processo de fabricação de tijolos cerâmicos, analisar os principais problemas ocorridos nos produtos da Arte Cerâmica Sardinha, propor melhorias para mitigar a ocorrência deles, além de verificar a conformidade do processo produtivo ao apresentado na literatura. Para tal, são apresentadas informações a respeito do *Business Process Management* (BPM) e do processo de fabricação da indústria de cerâmica vermelha, além da metodologia de pesquisa, da modelagem do processo da indústria cerâmica, assim como os principais problemas do processo e sugestões de soluções.

2 Referencial teórico

O referencial teórico abordado consiste em dois temas: gerenciamento de processos de negócio (*Business Process Management*) e o processo de fabricação da cerâmica vermelha.

2.1 Business Process Management (BPM)

A *Business Process Management* (BPM) é considerada uma disciplina gerencial que aborda a definição, a Engenharia, o controle e a melhoria contínua dos processos de negócios, visando atingir os objetivos da organização (ABPMP, 2020). As atividades executadas de forma coordenada nas organizações e ambientes técnicos para atingir uma meta de negócios são conhecidas com Processo de Negócio (BOCCIARELLI *et al.*, 2019).

Segundo Schmiedel, Brocke e Recker (2012), a cultura organizacional é um importante fator de sucesso para a gestão de processos, pois, ao implementar o BPM, a cultura adotada apoia e suporta as melhorias implantadas. A gestão de processos suporta os objetivos e metas estratégicas ao garantir que as diversas áreas organizacionais estejam alinhadas entre si (BROCKE; ROSEMAN, 2013).

Segundo Figueiredo (2018), para um gerenciamento efetivo dos processos de negócio, é importante empregar técnicas adequadas para a modelagem desses processos, de modo que se represente de maneira correta e concisa as particularidades do negócio, contribuindo para que os integrantes do ambiente organizacional tenham uma visão ampla e clara dos procedimentos internos do local onde trabalham.

2.1.1. Modelagem de Processos

Para a Association of Business Process Management Professionals International (ABPMP, 2020), a modelagem de processos compõe o ciclo de vida do BPM e consiste em uma atividade de construção de modelos de representação abstrata, com desenho do processo ou de sua arquitetura, capaz de facilitar o entendimento do usuário. Além de simplificar a visualização do processo por parte do usuário, com a modelagem do processo é possível gerar melhorias mediante análises dos colaboradores. Existem diversas notações para a modelagem, e, de acordo com a ABPMP (2020), entre as principais notações utilizadas está a *Business Process Modeling Notation* (BPMN), a qual será utilizada neste estudo. A simbologia dessa notação pode ser observada no Quadro 1.

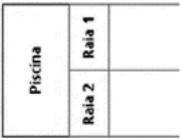
Quadro 1 ▶

Simbologia BPMN.
Fonte: adaptado de MPF (2020) e de Amarilla e Iarozinski Neto (2018)

Objeto	Figura
Atividades	
Eventos	
Decisores	
Associação
Fluxo de mensagem	
Fluxo de sequência	

Continua

Conclusão

Objetos de dados	
Grupos	
Anotações	
Piscina (<i>pool</i>)	
Raia (<i>lane</i>)	

No intuito de desenvolver uma notação mais abrangente, na qual todos os usuários de negócios possam compreender o processo desde uma visão macro até o seu detalhamento, a *OMG (Object Management Group)* estabeleceu a notação BPMN (FONSECA; CANGIOLIERI JUNIOR, 2018). Essa notação apresenta pontos inicial e final, responsável pela operação, entradas e saídas, restrições e pontos para monitoramento. A BPMN pode ser utilizada no planejamento, controle e monitoramento de negócios (VINCENZA *et al.*, 2019).

A BPMN é um padrão de representação gráfica que permite a modelagem de fluxos de processos de forma simples e clara, facilitando o entendimento dos usuários. Existem quatro categorias básicas para a representação da notação; são elas (AMARILLA; IAROSZINSKI NETO, 2018; MPF, 2020): objetos de fluxo (atividades, eventos e decisões), artefatos (objetos de dados, anotações e grupos), objetos de conexão (fluxo de mensagens, fluxo de sequência e associação) e *swimlanes* (piscinas e raias). Tais categorias podem ser observadas no Quadro 1.

2.2. Processo de fabricação da cerâmica vermelha

O processo produtivo da indústria de cerâmica vermelha é simples: constitui-se basicamente das etapas de extração, desintegração, mistura das argilas; após essas etapas, a massa passar por laminação, extrusão, corte, secagem, queima; e, finalmente, inspeção, estocagem e expedição do produto (ARAÚJO; DUARTE; PRADO, 2019).

Na indústria cerâmica tradicional, grande parte das matérias-primas utilizadas é natural e obtida por mineração. O material é desintegrado e misturado em compostos de matérias-primas, água e aditivos, com o objetivo de obter uma composição homogênea com distribuição granulométrica apropriada (OLIVEIRA; MAGANHA, 2008; QUINTEIRO *et al.*, 2014).

Após a mistura, o material é comprimido por rolos por meio da laminação, na qual as partículas de argila são direcionadas e a qualidade do acabamento do produto

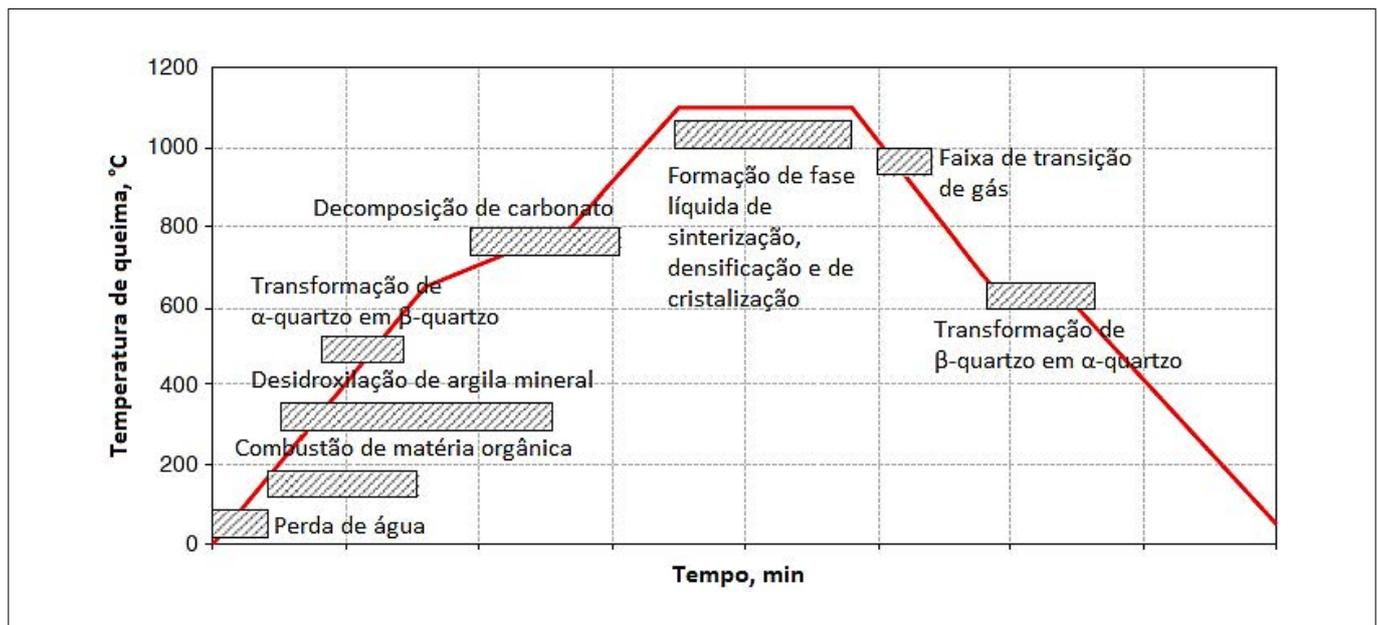
é melhorada. Então, o material segue para a extrusora, conhecida como maromba, que comprime o material contra a boquilha para modelar o tijolo em formatos pré-determinados. Em seguida, o material é cortado de forma manual ou automática e inspecionado; as peças aprovadas são encaminhadas para secagem e as reprovadas retornam para a etapa de preparação da massa (NUNES; RESENDE, 2013).

Ainda de acordo com Nunes e Resende (2013), existem dois tipos de secagem utilizados no processo cerâmico: natural e artificial. O primeiro tem a vantagem do baixo custo, no entanto o tempo de secagem é elevado; a baixa produtividade e a dependência do clima são desvantagens. O segundo tem a vantagem do menor tempo de secagem e melhor qualidade das peças, porém requer um conhecimento técnico do operador, assim como equipamentos especializados, aumentando o custo.

Ferrer *et al.* (2015) descrevem o ciclo de queima da cerâmica (Figura 1) em três etapas:

- Aquecimento: nessa etapa, o produto cru é aquecido até 800 °C. A remoção de água, a combustão de matéria orgânica, a transformação alotrópica de quartzo α em β , a perda de hidróxido e a decomposição de carbonatos, quando integrados à composição, são transformações ocorridas durante o aquecimento, que resulta na liberação de gás do corpo cerâmico para evitar problemas como inchaço, bolhas, furos, poros e diferença de cor em temperaturas mais altas;
- Queima: conhecida como sinterização, pode atingir a temperatura de 850 °C a 1350 °C e varia de acordo com o material produzido. As principais transformações químicas, como a redução da porosidade, as mudanças dimensionais (encolhimento) e a formação de fases cristalinas estáveis, ocorrem nessa fase;
- Resfriamento: iniciada com o término da entrada de calor, a temperatura diminui do pico até próximo à temperatura ambiente, sendo, essencialmente, restringida pela transformação de quartzo a 573 °C, pois a mudança de volume na transformação pode causar rachaduras caso o resfriamento não seja uniforme em todo o material, devido à baixa condutividade térmica da cerâmica.

Figura 1 ▼
Ciclo da queima da cerâmica.
Fonte: adaptado de Ferrer *et al.* (2015)



Devido à variação de temperatura no interior do forno, os produtos podem apresentar qualidades de acabamento diferentes, por isso, após a queima, são submetidos a inspeções de qualidade. Se forem aprovados, são encaminhados para o estoque, em caso de reprovação, são descartados (SOUZA, 2020).

Grigoletti (2001) afirma que produtos acabados que apresentam poucos defeitos podem ser vendidos como material de segunda para usos menos nobres, como muros ou paredes rebocadas, desde que os defeitos não comprometam sua aplicação. Para o autor, apenas produtos cuja aplicação esteja comprometida, em decorrência dos defeitos, são caracterizados como perdas do processo.

O processo de queima pode ocorrer em fornos contínuos ou intermitentes, cuja principal diferença é a produção por bateladas em fornos intermitentes. Nunes e Resende (2013) citam cinco fornos intermitentes, dois contínuos e suas características:

- Caeira: baixo custo de implementação, baixa produtividade, qualidade inferior do produto, alto percentual de perdas (não conformes), alto custo de produção;
- Paulistinha: fácil construção e operação, baixo investimento, queima irregular com variação de temperatura no interior do forno e lentidão no aquecimento e resfriamento;
- Abóboda: fácil construção e operação, apresentando bom desempenho com diversos combustíveis, alta velocidade de aquecimento, ausência de controle de registro;
- Vagão: fácil construção, boas condições de trabalho durante a operação, alta produtividade devido à queima de um vagão enquanto o outro é montado ou resfriado, no entanto apresenta deficiência durante a queima, principalmente no centro da carga e requeima, na lateral e no topo da carga;
- Metálico: fácil construção, boas condições de trabalho durante a operação, alta produtividade, apresenta um melhor isolamento térmico devido ao uso de fibras cerâmicas, no entanto, apresenta deficiência durante a queima, principalmente no centro da carga e requeima, tanto na lateral como no topo da carga, e o custo de implementação é superior ao custo do forno vagão;
- Hoffmann: fácil operação, bom rendimento energético e boa produtividade, qualidades estas associadas ao elevado custo de construção e a desvantagens como a requeima na soleira, falta de queima na abóboda, vazamento nos canais e manchas laterais causadas por falta de ar;
- Túnel: operação de carga e descarga facilitada, boa eficiência energética, pode ser automatizado com facilidade, no entanto exige grande conhecimento técnico para sua operação. Exige um volume de produção contínuo, é regulado através de termopares e depressômetros, pode apresentar trincas devido ao choque térmico ocasionado pelo resfriamento rápido característico do forno.

3 Método da pesquisa

A pesquisa desenvolvida é de caráter exploratório, pois tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, fundamentada por meio da pesquisa bibliográfica, por ser desenvolvida a partir de material já elaborado, como livros e artigos, para reunir informações sobre os temas: indústria cerâmica e gestão de processos (GIL, 2017).

De acordo com Gil (2017), a pesquisa também é caracterizada como estudo de caso, pois proporciona uma visão global do problema do objeto de estudo, identificando fatores que o influenciam na sua ocorrência ou são influenciados por ele.

Após a revisão bibliográfica e a análise dos trabalhos relacionados, a modelagem do processo de fabricação da indústria cerâmica foi elaborada, baseada na literatura, utilizando a notação BPMN com o auxílio do *software* Bizagi Modeler. Esse *software* foi escolhido por ser gratuito e de fácil utilização.

Após a definição das etapas do processo, conforme indicou a literatura, um estudo de caso foi realizado em uma indústria cerâmica. Nesse estudo foi realizada uma comparação entre a modelagem do processo definido pela literatura e o processo executado na cerâmica estudada, assim como uma verificação de seus problemas mais recorrentes.

Um *brainstorming* foi realizado com o ceramista gestor da cerâmica estudada, tanto para comparação entre os processos como para identificação das causas dos problemas relatados. Para representar essas causas, o diagrama de causa e efeito foi utilizado. A escolha dessa ferramenta se deve ao reconhecimento no auxílio em identificar a causa raiz de problemas ocorridos. Para finalizar o estudo de caso, foram propostas alternativas para solucionar as causas dos problemas mapeados.

3.1. Trabalhos relacionados

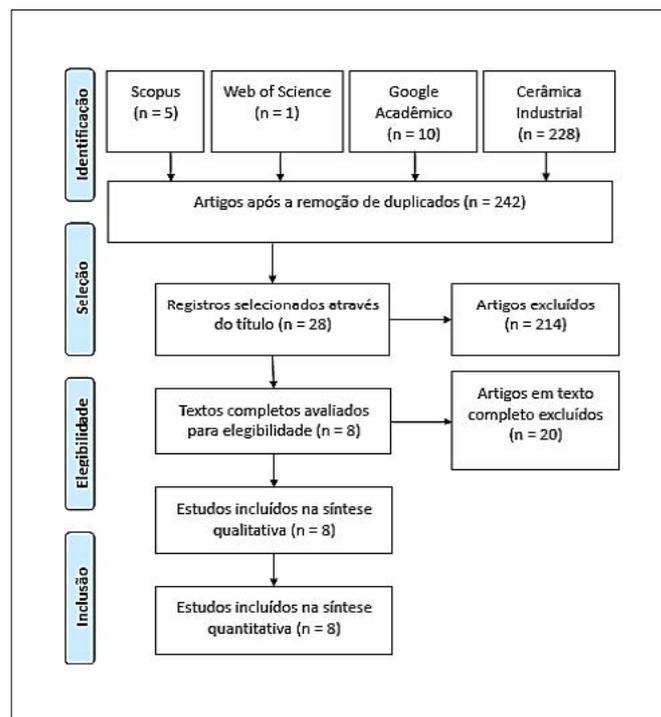
A identificação dos trabalhos relacionados foi realizada utilizando o método PRISMA (GALVÃO; PANSANI; HARRAD, 2015). As bases científicas Scopus, Web of Science, Revista Cerâmica Industrial e Google Acadêmico foram utilizadas para a coleta de artigos, por meio dos termos de busca apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 ►
Bases e termos da pesquisa.
Fonte: elaborado pelos autores

Base	Termos de busca
Scopus e Web of Science	(TITLE-ABS-KEY ("ceramic industry") AND TITLE-ABS-KEY ("business process" OR bpm*))
Revista Cerâmica Industrial	Avaliação dos títulos publicados nos últimos oito anos
Google Acadêmico	Avaliação dos 10 primeiros artigos para os resultados de pesquisa dos termos "cerâmica" e "bpmn"

O processo de seleção dos artigos, apresentado na Figura 2 (página seguinte), inicia com a busca nas bases para identificação dos artigos e remoção de itens duplicados. A primeira análise para seleção dos artigos considerou os respectivos títulos e resumos. A segunda análise teve como premissa a menção a alguma etapa do processo produtivo como critério de elegibilidade, sendo seguida pela qualidade das informações disponibilizadas nos textos, sejam relacionadas à execução do processo ou ao controle de qualidade.

Figura 2 ▶
Método PRISMA
utilizado na pesquisa.
Fonte: elaborado
pelos autores



Quadro 3 ▼
Artigos relacionados.
Fonte: dados da pesquisa

O Quadro 3 traz o resultado detalhado dos oito artigos selecionados, considerando os autores e ano de publicação, as etapas do processo de fabricação de tijolos que foram descritas nos artigos e o modo como essas etapas foram apresentadas.

n.	Autores (Ano)	Etapas-Processo	Formato
1	Maia <i>et al.</i> (2019)	Pedido	Fluxograma
2	Araújo, Duarte e Prado (2019)	Conformação, secagem e queima	Texto
3	Barata <i>et al.</i> (2018)	Preparação, conformação, secagem, queima, rastreabilidade	BPMN
4	Guimarães <i>et al.</i> (2018)	Preparação, conformação, secagem, queima, estocagem	Fluxograma
5	Barata <i>et al.</i> (2017)	Preparação, conformação, secagem, queima, rastreabilidade	BPMN
6	Zonotel <i>et al.</i> (2017)	Preparação, conformação, queima, estocagem	Fluxograma
7	Feitoza <i>et al.</i> (2016)	Preparação, conformação, queima, estocagem	BPMN
8	Rêgo e Soares (2015)	Preparação, conformação, queima	Texto

Entre os artigos relacionados ao tema pesquisado, destacam-se os artigos 3, 5 e 7 por utilizarem a notação BPMN para descrever o processo. Os trabalhos de Barata *et al.* (2017, 2018) abordam brevemente o processo produtivo e enfocam a rastreabilidade do material ao longo da cadeia de fornecimento, produção, distribuição e venda.

Feitoza *et al.* (2016) descreveram todo o processo de fabricação do material cerâmico, analisando o processo produtivo e o processo de vendas da indústria cerâmica.

4 Resultados e discussões

Nesta seção são apresentados e discutidos os principais resultados obtidos, tanto na modelagem do processo de fabricação da cerâmica vermelha como no estudo de caso. Tais resultados são apresentados a seguir.

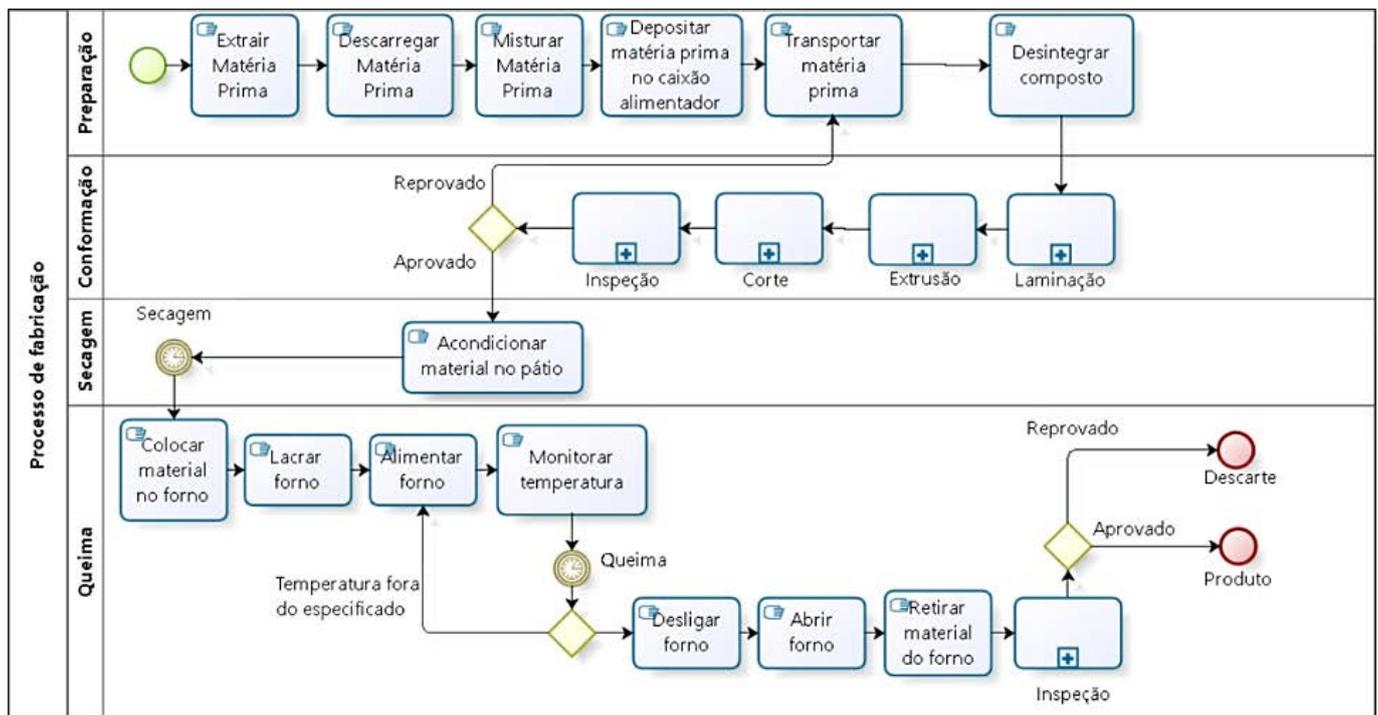
Figura 3 ▼

Modelagem do processo de fabricação da cerâmica vermelha.

Fonte: elaborada pelos autores

4.1. Modelagem do processo de fabricação da cerâmica vermelha

A modelagem do processo de fabricação da cerâmica vermelha está representada na Figura 3 considerando as etapas de preparação, conformação, secagem e queima do material, seus respectivos subprocessos e atividades, em acordo com as informações obtidas na literatura.



O processo de fabricação da cerâmica vermelha tem início ao extrair a matéria-prima das jazidas e descarregá-las no pátio, onde a mistura de diferentes componentes de argila ocorre com o auxílio de máquinas. Após essas componentes serem misturadas, o composto argiloso é depositado no caixão alimentador e transportado por uma esteira até o desintegrador de partículas.

Em seguida o material cru é laminado, extrudado em um molde para adquirir a forma final, cortado e inspecionado. O material aprovado na inspeção é acondicionado em um local coberto para secagem natural, e o reprovado é reinserido na esteira de transporte para ser desintegrado e retornar ao processo.

Após 48 horas de secagem, o material cru é acondicionado no forno que posteriormente será lacrado, então, as fornalhas serão acesas e a temperatura do forno será monitorada.

Quando a temperatura do forno exceder a temperatura de patamar, este deixa de ser alimentado e quando estiver abaixo do especificado, as fornalhas recebem mais combustível. Esse processo é realizado até o término do ciclo de queima.

Posteriormente, as fornalhas serão apagadas e as portas serão abertas, os produtos acabados serão retirados do forno e inspecionados, sendo direcionados para venda se aprovados, ou descartados quando reprovados.

Pode-se observar na Figura 3 que a fase de preparação contém seis tarefas, a fase de conformação contém quatro subprocessos, a fase de secagem contém uma tarefa, e a fase da queima contém sete tarefas e um subprocesso. O processo (Figura 3) possui três decisões, duas em relação aos resultados de inspeções e uma à especificação da temperatura. Também apresenta dois eventos de tempo, para queima e secagem.

Dessa forma, primeiramente é apresentada a modelagem do processo e suas etapas são devidamente descritas. Em seguida, são apresentados e discutidos todos os procedimentos realizados no estudo de caso abordado neste trabalho.

4.2. Estudo de caso

O processo de fabricação da Arte Cerâmica Sardinha, localizada no município de Campos dos Goytacazes-RJ, contempla todas as etapas verificadas na literatura e apresentadas na modelagem do processo (Figura 3). Esta análise se concretizou por meio de pesquisas já efetuadas nessa indústria cerâmica e por meio de entrevista realizada com o respectivo ceramista proprietário e gestor do estabelecimento citado.

Foi possível destacar como ponto positivo da cerâmica analisada a utilização de trocadores de calor para reaproveitar a energia residual proveniente da queima. Segundo o ceramista, a utilização do trocador de calor permite o reaproveitamento de 50% do calor dos gases de exaustão, o que reduz o custo operacional do forno.

Feitoza *et al.* (2016) concluíram em suas pesquisas na indústria cerâmica que não existe relação direta entre o processo produtivo e o processo de pedidos, ou seja, a cerâmica produz conforme capacidade operacional e não conforme demanda do cliente. Essa afirmação se aplica à indústria estudada.

Ao avaliar os defeitos de uma indústria cerâmica, Araújo, Duarte e Prado (2019) verificaram o percentual de peças disformes no processo de conformação, secagem natural e queima, sendo esses iguais a 1,19%, 3,01% e 8,54%, respectivamente, e destacaram os problemas da queima como os mais relevantes, pois, uma vez retiradas do forno, não é possível reutilizar as peças no processo. Foi percebido que a cerâmica estudada não possui uma verificação de produtos disformes nas etapas do processo.

Entre as disformidades dos produtos obtidos no processo de fabricação, os de maior recorrência e preocupação para o ceramista são a mudança da coloração do produto – pois tijolos com coloração inadequada são, em alguns casos, vendidos como material de “segunda” e, em outros, descartados – e a ocorrência de trincas e quebras.

Para encontrar as causas dos problemas citados foi realizado um *brainstorming* com o ceramista, e as informações obtidas foram compiladas e reproduzidas por meio de diagramas de causa e efeito, conforme ilustram a Figura 4 e a Figura 5.

Figura 4 ►

Diagrama de causa e efeito para a mudança de coloração.

Fonte: elaborado pelos autores

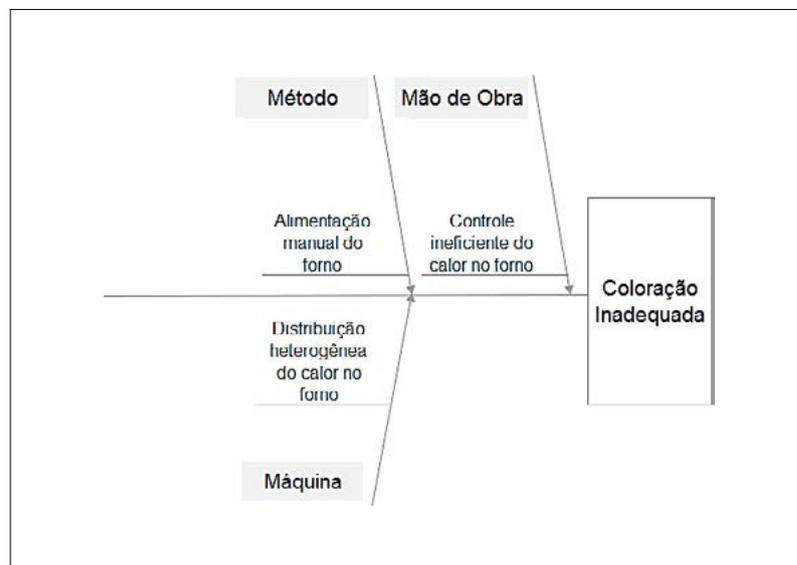
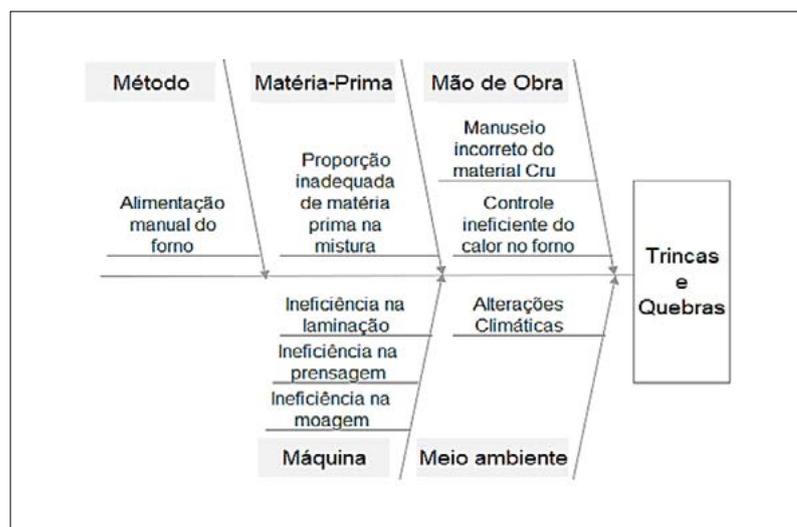


Figura 5 ►

Diagrama de causa e efeito para trincas e quebras.

Fonte: elaborado pelos autores



Com relação à mudança na coloração, Dutra (2007) destaca que definir a velocidade da queima é um fator essencial para a qualidade final do produto e a economia de combustível, pois temperaturas e tempo mal dimensionados podem levar à obtenção de peças sobrequeimadas, com alto consumo de energia, ou a peças cruas, com propriedades inapropriadas.

Guimarães (2017) corrobora Dutra (2007) e informa que, em seu estudo, o aumento da velocidade de aquecimento resultou no surgimento de poros intergranulares para o aquecimento de 2 °C/min, poros circulares para 15 °C/min e trincas internas para 30 °C/min.

Como a verificação da temperatura e da alimentação do forno na cerâmica estudada é realizada de forma intermitente pelo operador, a linearidade na curva de queima pode ser afetada pela distração, por fadiga do operador e pelos picos de queima ocorridos no momento em que o combustível é adicionado nas fornalhas. A diferença da temperatura

interna do forno proporciona um período heterogêneo da sinterização dos tijolos no forno, porém o tempo de queima é o mesmo para todos.

Os fatores que contribuem para a ocorrência de trincas e quebras são: (i) a proporção inadequada de argila, aditivo e água, pois, quando utilizados em proporções erradas, resultam na deficiência da plasticidade do material e na alteração da umidade do material cru; (ii) as alterações climáticas, que influenciam no processo de secagem natural, pois dias frios e úmidos prolongam o tempo de secagem do produto; (iii) a condição das máquinas de laminação, prensagem e moagem, que tem influência direta na qualidade do produto; (iv) o manuseio brusco e incorreto do material cru pelos operadores durante as etapas de secagem e acondicionamento no forno; (v) o controle ineficiente da temperatura do forno e o método de alimentação manual, que podem resultar em trincas e quebras – isso ocorre quando o aquecimento é mais rápido que o tempo necessário para a sinterização do material e o resfriamento brusco causa choque térmico nas peças.

Com base nas análises realizadas para as causas dos problemas pontuados e na bibliografia encontrada, são sugeridas as seguintes medidas para melhoria da qualidade, uniformidade dos produtos e melhoria da eficiência do processo:

- Realizar verificações periódicas da massa argilosa por meio de testes de plasticidade, umidade e granulometria. Normalmente, por experiência prática, tentativa e erro, a indústria define a proporção do material a ser misturado. Ao realizar as inspeções é possível identificar as variações da composição da argila mineirada, assim como identificar quais as melhores proporções para evitar problemas durante o processo (ARAÚJO; DUARTE; PRADO, 2019);
- Avaliar a implementação das boas práticas para resíduos sólidos, conforme Guimarães *et al.* (2018): utilizá-los como agregado em obras internas; doar para os empregados; vender mediante termo de aceitação do cliente; utilizar como aterro no local, principalmente para recuperar as áreas de extração esgotadas. Esses resíduos podem também ser reaproveitados na fabricação de agregado graúdo; na queima de fornos nas indústrias cimenteiras; ou até mesmo para conformação de quadras de saibro; e ainda é possível utilizá-los para selar as portas do forno;
- Proceder de forma completa à secagem das peças para enviá-las para a queima, realizando testes para verificar a umidade das peças; tendo em vista que a secagem ocorre de forma natural, recomenda-se proteção dos produtos da ação direta da chuva (ARAÚJO; DUARTE; PRADO, 2019). Uma vez que a secagem artificial é mais rápida e mais eficiente que a natural, recomenda-se avaliar a possibilidade de reaproveitar o calor proveniente da queima em estufas, assim como sua construção;
- Quantificar a capacidade produtiva e o percentual de itens defeituosos em cada etapa para avaliar onde futuras análises podem gerar melhorias no processo, assim como avaliar a possibilidade de realizar paradas programadas para manutenção das máquinas de moagem, laminação e extrusão para aumentar sua eficiência;
- Implementar um sistema de alimentação contínuo do forno para ter um controle mais eficiente do calor durante a queima, pois, segundo Rêgo e Soares (2015), é importante controlar a velocidade de aquecimento e resfriamento para minimizar possíveis trincas, principalmente quando o forno se aproxima da temperatura de 573 °C, quando a velocidade de aquecimento ou resfriamento deve ser menor, devido à transformação do quartzo alfa para beta ou de beta para alfa.

5 Conclusão

A realização deste trabalho permitiu a elaboração da modelagem do processo utilizando a notação BPMN, em acordo com as informações encontradas na literatura, e, por meio desta, avaliar se o processo da cerâmica estudada se encontra em conformidade com as informações encontradas na literatura. Além disso, foi possível verificar na cerâmica estudada os problemas de maior recorrência e suas possíveis causas, assim como sugerir soluções para minimizar a ocorrência destes, resultando em economia e aumento de competitividade no setor.

Como pontos positivos do processo atual da cerâmica estudada, pode-se citar a aderência ao processo modelado de acordo com a literatura e o reaproveitamento do calor proveniente da queima dos fornos, provendo uma solução sustentável capaz de reduzir os gastos com o combustível da queima.

De acordo com a análise realizada, foi possível elencar três fatores que contribuíram para a mudança da coloração do produto e oito causas para as trincas e quebras, assim como propor cinco possíveis soluções para reduzir a não conformidade dos produtos e aumentar a eficiência do processo.

Para trabalhos futuros, sugere-se a avaliação da viabilidade da implementação das soluções propostas.

Financiamento

Esta pesquisa não recebeu financiamento externo.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

ABPMP – ASSOCIATION OF BUSINESS PROCESS MANAGEMENT PROFESSIONALS INTERNATIONAL. **BPM CBOOK Version 4.0:** Portuguese Version. Independently Published, 2020.

AMARILLA, R. S. D.; IAROSZINSKI NETO, A. Análise comparativa dos principais processos de negócio de empresas do subsetor de edificações da construção civil. **Gestão e Produção**, v. 25, n. 2, p. 269-283, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/0104-530x2406-16>.

ANICER – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. **Dados do setor**. Rio de Janeiro: Anicer, 2021. Disponível em: <https://www.anicer.com.br/anicer/setor>. Acesso em: 8 jan. 2021.

ARAÚJO, M. N. P.; DUARTE, C. R.; PRADO, A. C. A. Avaliação do processo produtivo de uma olaria como alternativa para redução de perdas com produtos disformes. **Cerâmica Industrial**, v. 24, n. 4, p. 37-44, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2019.020>.

BARATA, J.; CUNHA, P. R.; GONNAGAR, A. S.; MENDES, M. A systematic approach to design product traceability in Industry 4.0: Insights from the ceramic industry. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS DEVELOPMENT (ISD 2017 CYPRUS)*, 26., 2017, Cyprus. **Proceedings** [...]. Cyprus: University of Central Lancashire Cyprus Larnaca, 2017. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/301373099.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

BARATA, J.; CUNHA, P. R.; GONNAGAR, A. S.; MENDES, M. Product traceability in ceramic Industry 4.0: a design approach and cloud-based MES prototype. *In: PASPALLIS, N. et al. (eds.). Advances in Information Systems Development*. Cham: Springer International Publishing, 2018. v. 26, p. 187-204. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-74817-7_12.

BOCCIARELLI, P.; D'AMBROGIO, A.; GIGLIO, A.; PAGLIA, E. BPMN-Based Business Process Modeling and Simulation. *In: WINTER SIMULATION CONFERENCE (WSC)*, 2019, National Harbor. **Proceedings** [...]. IEEE: National Harbor, 2019. p. 1439-1453. DOI: <https://doi.org/10.1109/WSC40007.2019.9004960>.

BRAGA, W. A.; SANTOS, M. W. L. C.; SALES, J. C. Qualidade na indústria de cerâmica vermelha: medidas e alternativas para o controle dimensional. **Cerâmica Industrial**, v. 21, n. 5-6, p. 40-43, 2016. Disponível em: <https://ceramicaindustrial.org.br/journal/ci/article/doi/10.4322/cerind.2016.031>. Acesso em: 23 set. 2019.

BROCKE, J. V.; ROSEMAN, M. **Manual de BPM: gestão de processos de negócio**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

DUTRA, R. P. S. **Efeito da velocidade de aquecimento nas propriedades de produtos da cerâmica estrutural**. 2007. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/12870>. Acesso em: 10 out. 2022.

FEITOZA, M. C.; DENZIN, E. A.; SCHNEIDER, G. A.; SILVA, P. H. G. Mapeamento de processos empresariais de indústria cerâmica utilizando o business process management - BPM. *In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E EXTENSÃO (JICE)*, 7., 2016, Palmas. **Anais** [...]. Palmas: IFTO, 2016. Disponível em: <https://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/jice/7jice/paper/view/7738>. Acesso em: 5 nov. 2020.

FERRER, S.; MEZQUITA, A.; GOMEZ-TENA, M. P.; MACHI, C.; MONFORT, E. Estimation of the heat of reaction in traditional ceramic compositions. **Applied Clay Science**, v. 108, n.1, p. 28-39, May 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2015.02.019>.

FIGUEIREDO, L. R. **Mapeamento de modelos de processos de negócio para ontologias, incluindo sistema de consultas**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/154195>. Acesso em: 20 set. 2021.

FONSECA, M. C. V.; CANGIHLIERI JUNIOR, O. BPMN applied to the automation of an integrated product development process oriented to the R&D projects of the Brazilian electrical sector. **Advances in Transdisciplinary Engineering**, v. 7, n. 1, p. 421-430. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.3233/978-1-61499-898-3-421>.

GALVÃO, T. F.; PANSANI, T. S. A.; HARRAD, D. Principais itens para relatar revisões sistemáticas e meta-análises: A recomendação PRISMA. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 24, n. 2, p. 335-342, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5123/S1679-49742015000200017>.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GRIGOLETTI, G. C. **Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha do estado do Rio Grande do Sul**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/1753>. Acesso em: 10 out. 2022.

GUIMARÃES, C. A. O. **Avaliação do ciclo de queima nas propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2017. Disponível em: https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Dissertação_CarlosAOGuimaraes.pdf. Acesso em: 10 out. 2022.

GUIMARÃES, K. R. L.; HOLANDA, R. M.; SILVAN, B. B.; ARAÚJO, L. E.; LORENA, E. M. G. Análise do atendimento aos requisitos ambientais: um múltiplo estudo de caso nas indústrias de cerâmica vermelha do estado de Pernambuco. **Cerâmica Industrial**, v. 23, n. 1, p. 33-46, 2018. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/doi/10.4322/cerind.2018.002>. Acesso em: 10 out. 2022.

MAIA, M.; PIMENTEL, C.; SILVA, F.; GODINA, R.; MATIAS, J. Order fulfilment process improvement in a ceramic industry. **Procedia Manufacturing**, v. 38, n. 1, p. 1436-1443, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.144>.

MPF – MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL (Brasil). Secretaria Adjunta de Modernização e Gestão Estratégica. **Metodologia de gestão de processos do Ministério Público Federal**. Brasília: MPF/PGR, 2020. 91 p. Disponível em: <https://www.mpf.mp.br/o-mpf/sobre-o-mpf/gestao-estrategica-e-modernizacao-do-mpf/escritorio-de-processos/instrumentos-da-gestao-de-processos/metodologia>. Acesso em: 10 out. 2022.

NUNES, A. C. N.; RESENDE, S. S. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica vermelha**. Belo Horizonte: FIEMG, 2013. Disponível em: <https://www.terrabrasilis.org.br/ecotecadigital/index.php/estantes/acoes-com-o-entorno/3109-guia-tecnico-ambiental-da-industria-de-ceramica-vermelha>. Acesso em: 10 out. 2022.

OLIVEIRA, M. C.; MAGANHA, M. F. B. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica branca e de revestimento - Série P + L**. São Paulo: CETESB, 2008. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/ceramica.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

QUINTEIRO, P.; ALMEIDA, M.; DIAS, A. C.; ARAÚJO, A.; ARROJA, L. The carbon footprint of ceramic products. In: MUTHU, S. S. (ed.). **Assessment of carbon footprint in different industrial sectors**. Singapore: Springer Singapore, 2014. v. 1, p. 113-150. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-4560-41-2_5.

RÊGO, V. R.; SOARES, R. A. L. Avaliação do processo produtivo e das propriedades tecnológicas de blocos cerâmicos produzidos na região da Grande Teresina. **Cerâmica Industrial – Revista do Técnico Cerâmico Brasileiro**, v. 20, n. 3, p. 42-45, 2015. Disponível em: <https://ceramicaindustrial.org.br/journal/ci/article/5876575c7f8c9d6e028b4828>. Acesso em: 10 out. 2022.

SCHMIEDEL, T.; BROCKE, J.; RECKER, J. Is your organizational culture fit for business process management? **Business Process Trends**, v. 9, n. 5, p. 1-5, May 2012. Disponível em: <https://www.bptrends.com/is-your-organizational-culture-fit-for-business-process-managment/>. Acesso em: 10 out. 2022.

SOUZA, K. T. **Estudo dos perfis de temperatura de peças cerâmicas e do fluxo de gases no interior de um forno intermitente**. 2020. Dissertação (Mestrado em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2020. Disponível em: <https://portal1.iff.edu.br/pesquisa-e-inovacao/pos-graduacao-stricto-sensu/mestrado-profissional-em-sistemas-aplicados-a-engenharia-e-a-gestao/dissertacoes-defendidas/ingressantes-2018.1/estudo-dos-perfis-de-temperatura-de-pecas-ceramicas-e-do-fluxo-de-gases-no-interior-de-um-forno-intermitente>. Acesso em: 10 out. 2022.

VINCENZA, C.; GIOVANNI, C.; MICHELE, M.; CARLO, P.; GIULIO, P.; NATALIA, T. BPM tools for asset management in renewable energy power plants. *In*: FEDERATED CONFERENCE ON COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION SYSTEMS (FedCSIS), 2019, Leipzig. **Proceedings** [...]. Leipzig: IEEE, 2019. p. 645-649. DOI: <https://doi.org/10.15439/2019F110>.

ZONOTEL, D. R.; MILAN, P. C.; MUNNO, V. M. R.; CORRER, I. Proposta de melhoria para redução de divergências do estoque de uma empresa do setor cerâmico. **Cerâmica Industrial**, v. 22, n. 2, p. 25-31, 2017. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/journal/ci/article/doi/10.4322/cerind.2017.012>. Acesso em: 20 set. 2021.