



R4thort

INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

“INTEGRATING CLEANER PRODUCTION INTO SUSTAINABILITY STRATEGIES”

Optimization of Packaging Raw Materials in Ceramic Refractory Manufacturing Process

SILVA, L. D.^{a*}, WIEMES, L.^{a,b}, MERCÊ, A. L. R.^a, PAWLOSKY, U.^a

a. UFPR - Universidade Federal do Paraná

b.FAMEC - Faculdade Metropolitana de Curitiba

**Corresponding author, luciano@ibest.com.br*

Resumo

Na fabricação de cerâmicas refratárias, existem muitas variáveis que contribuem para os problemas presentes no produto final. Alguns deles podem ser facilmente identificados. Outros, porém, exigem uma avaliação mais abrangente e o uso de ferramentas específicas do sistema de gestão da qualidade para ajudar a identificar as causas reais do problema e, portanto, sua eliminação no menor espaço de tempo. Considerando-se o processo em si, os produtos finais apresentaram problemas de variação de densidade, o fato relacionada a compactação do material (com deformação expansão das partes), queimar facilmente no secador, a baixa resistência, o aumento na quantidade de água absorvida e e maior tempo de secagem dos componentes. Estes problemas causaram perda sem ambos os processos, a produção e o departamento financeiro, além de um desperdício de energia sob a forma de calor considerável, o reprocessamento gerado e a geração de resíduos que requerem o descarte final dos respectivos materiais. Algumas análises foram feitas no processo de produção, de modo que foi possível identificar o maior número possível de causas que contribuem para o aparecimento dos problemas listados. Este trabalho pretende através da aplicação de ferramentas de qualidade (diagrama de brainstorming e de causa e efeito ou diagrama de Ishikawa), identificar os modos de falhas no processo, fazendo com que eles sejam corrigidos pela implementação de ações que pretende evitar a recorrência de problemas, tornando a planta mais econômica em termos financeiros, bem como mais ambientalmente responsável, gerando menos resíduos.

Palavras Chaves: *Cerâmica Refratária; Serragem, Silo, Geração Resíduos.*

1 Introdução

Transformações sempre fizeram parte da sociedade como um todo, porém, a cada dia elas ocorrem de forma muito mais rápida. A necessidade de modernização dos processos produtivos, passando da abordagem do mercado, principalmente no que se refere à invasão dos produtos orientais que apresentam vantagens políticas e competitivas muito acirradas. Preparar um diferencial num mundo globalizado é condição essencial para se manter no mercado. Cabe, portanto, a cada empresa fornecer os meios para que tal objetivo seja traçado e alcançado.

A indústria cerâmica em análise também é afetada diretamente por estas transformações e

“INTEGRATING CLEANER PRODUCTION INTO SUSTAINABILITY STRATEGIES”

deve se adequar às exigências mercadológicas sob pena de perda de mercado caso não se faça. Além desses elementos, o processo produtivo está sujeito a diversas variáveis, que afetam diretamente a qualidade do produto final. Assim sendo, deve-se estabelecer uma metodologia de trabalho que permita identificar as causas reais de manifestações destas variáveis, assim como a proposição de soluções no menor espaço de tempo possível.

A aplicação de ferramentas da qualidade estrutura o trabalho no sentido de utilização de técnicas amplamente difundidas em âmbito fabril e que proporcionam a identificação, análise e definição de planos de ações. Através de sua aplicação, pretende-se obter resultados consistentes e perenes, além da mudança de cultura organizacional.

2 Revisão Bibliográfica

Uma classe importante dos materiais cerâmicos utilizados em larga escala é a cerâmica refratária. Dal Bóet *al* (2007) definem que as propriedades típicas desses materiais incluem a capacidade de resistir às temperaturas elevadas sem fundir ou decompor, e a capacidade de permanecer inertes quando expostos a ambientes severos. A denominação de cerâmica refratária é atribuída a um grupo de materiais cerâmicos, capazes de suportar altas temperaturas sem perder suas propriedades físico-químicas, entre elas, resistência, baixa condutividade térmica e condutividade elétrica. Conforme abordam Aliprandi e Cavallini (2005), os materiais refratários são produtos pertencentes ao mundo cerâmico com a característica primária de resistirem à alta temperatura, mas também a choques térmicos, tensões e agressões dos agentes sólidos, líquidos e gasosos. Um material cerâmico pode ser classificado como refratário, desde que, a uma temperatura de 1500 °C, não ocorra a sua deformação ou fusão, de acordo com Bilek (1978).

Os materiais refratários são comercializados em uma grande variedade de formas, mas os tijolos são a mais comum. Dentre as aplicações típicas, podem ser citados revestimentos de fornos para refino de metais, fabricação de vidro, tratamento térmico metalúrgico e geração de energia. No mercado existe uma notável variedade de produtos refratários, cuja classificação nem sempre é tão fácil. É importante, por exemplo, a distinção entre substâncias ácidas, básicas e neutras, segundo Cannio e Hanusková (2001). Estes mesmos autores também apresentam que as características fundamentais de um material refratário podem ser subdivididas em:

- propriedades na temperatura ambiente: a composição química, a composição mineralógica e a microestrutura, o peso específico relativo, a densidade aparente, a porosidade, a resistência à compressão e à flexão, e a permeabilidade;

- propriedades dos refratários em operação nas estruturas térmicas: índice de refratariedade, resistência pirosópica, resistência à pressão térmica (termopressão), resistência à fluidez, variações lineares ou de volume, condutibilidade e difusividade térmica, o calor específico e a capacidade térmica, a resistência às bruscas oscilações térmicas, a resistência à corrosão, e a resistividade elétrica.

3 Metodologia

O trabalho em questão faz menção a uma pesquisa de campo realizada em uma indústria cerâmica localizada na Região Norte do Estado de Santa Catarina. Esta pesquisa se fundamenta no método indutivo, que segundo Bastos e Keller (1999) se inicia com a observação de possíveis causas, a elaboração de hipóteses até se chegar à experimentação, que no caso em questão, se pretende chegar a uma conclusão, mais especificamente a resolução de um problema. Conforme aborda Cervo e Bervian (1983), a investigação nasce a partir de um problema observado. Assim sendo, esta pesquisa também se fundamenta na análise de causas relativas a problemas ocorridos no dia a dia desta fábrica. Considera, portanto, uma abordagem factual, conforme apresenta Lakatos e Marconi (2000), pois aborda os fatos e suas ocorrências, além de apresentar característica sistemática, que se fundamenta na aplicação dos métodos de “*brainstorming*”, diagrama de *Ishykawae* plano de ação, conforme proposto por Campos (1992). Leva em consideração variáveis (causas) definidas como matéria-prima, máquina, método, mão de obra, medida e meio ambiente, que proporcionam uma visão mais abrangente do processo, mantendo foco no problema (efeito).

Em sua fase final, o que deve ser bem identificado é que a padronização do sistema deve ser assegurado, haja visto que um problema pode ser resolvido, no entanto, com o passar do tempo ele pode reaparecer e isto evidencia que não foi bem analisado, registrado ou padronizado. A padronização constitui também elemento importante para análise de problemas futuros que possam ocorrer no mesmo processo. É, portanto, uma técnica amplamente difundida no meio empresarial, em empresas que mantêm um sistema de gestão da qualidade bem consolidado e também em cursos de administração com ênfase em Sistemas de Gestão da Qualidade e de aperfeiçoamento técnico.

O produto resultante do processo de fabricação em questão consiste em blocos de cerâmica refratária que poderão apresentar diversas aplicações. As mais comuns estão relacionadas a elementos que irão proporcionar o isolamento de calor, como exemplo fornos, caldeiras que deverá suportar as elevadas temperaturas ao qual será submetido. Para tanto, o produto obtido não poderá conter imperfeições ou indícios de não-conformidade em relação as suas características, sob o risco de proporcionar prejuízos durante sua utilização.

Porém, todo o processo produtivo está sujeito a variações de diversos tipos: variações na composição da matéria-prima, variações na temperatura de cura do forno, variação na sequência de trabalho ou na sequência de adição dos produtos a serem misturados, entre outros tantos. Para minimizar impactos futuros, normalmente em etapas importantes ou ao final dos processos de fabricação existe o controle da qualidade para avaliar as características finais do material processado. É nesse momento, antes do produto chegar até o seu cliente final, que eventuais falhas devem ser detectadas. Avaliam-se então as características do bloco cerâmico definidas em projeto, comparado com os produtos obtidos no processo.

No processo em questão, foram identificadas peças que apresentavam problemas da qualidade, sendo que os defeitos mais comuns observados consistiam em: a) baixo peso específico, variação maior de densidade ou falta de compactação do material – esse defeito causa o que pode ser chamado de variação de peso da peça pronta, também associada à variação de porosidade na peça; b) fragilidade da peça, o que ocorria principalmente nas

etapas de movimentação manual ou em carros vagonetas, gerando a deformação da peça dita crua (sem ter passado pelo forno); e c) grande quantidade de água presente na massa, o que favorecia a degradação completa da peça em função de sua desintegração dentro do forno de cura da mesma.

3.1 Análise das Causas do Problema

Conforme sugere Campos (1992) e considerando a abrangência do processo, foi constituído um grupo de trabalho para identificar as causas do problema, propor ações e implantá-las no processo produtivo a fim de resolver o problema então identificado. O grupo de trabalho decidiu que seriam aplicadas algumas ferramentas da qualidade (*brainstorming*, e diagrama espinha de peixe) no sentido de contribuir para a identificação da(s) causa(s) do problema. Vários elementos ligados ao processo produtivo foram identificados durante a análise do problema. Os principais elementos avaliados (6M's - Método, Medida, Mão-de-Obra, Máquina, Matéria-Prima e Meio Ambiente) estavam relacionados ao que está presente na Figura 1 – Diagrama Espinha de Peixe. A elaboração do *brainstorming* foi realizada com a participação do supervisor da área, engenheiro de processos, mecânico de manutenção, analista da qualidade e o operador de produção.

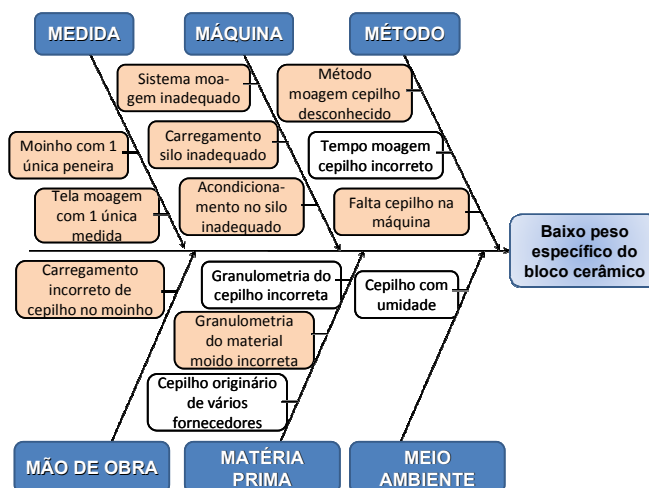


Fig. 1. Diagrama Espinha de Peixe – Causas identificadas para o Efeito: Baixo peso específico do bloco cerâmico.

3.1 Plano de Ação para Resolução das Causas do Problema

Após avaliação das causas prováveis, na Figura 1 em cor vermelha, o grupo de trabalho propôs a elaboração do plano de ação aplicando o método do 5W1H, sugerido por Campos (1992), conforme apresentado na Figura 2. Cada uma das ações definidas no Plano de Ação será descrita posteriormente.

4 Resultados e Discussão

A condição de implantação de cada ação apresentada na Fig. 2 está descrita abaixo e evidencia que constituíram elementos importantes para eliminação do efeito observado no produto final. Importante observar que para o problema em questão existiam muitas variáveis que até o momento de realização deste trabalho não eram evidentes.

A primeira ação consistiu na análise da operação realizada pelo operador no momento de carregamento do cepilho no moinho. A realização da operação não era contínua e isto favorecia que houvesse maior moagem do material em determinados momentos, o que causava variação na granulometria da serragem após moagem. Esta variação não constitui condição adequada de trabalho, pois ocorrendo esta situação, a serragem não irá apresentar condição apropriada para utilização. Havia também o desconhecimento desta condição por parte do operador, o que foi solucionado com o treinamento do mesmo e a criação do documento procedimento operacional, especificando as etapas da operação. De forma a manter a uniformidade em termos de operação do sistema de carregamento de cepilho no moinho em diferentes turnos de trabalho e entre diferentes operadores, o procedimento operacional foi descrito pelos próprios operadores, com orientação do supervisor de produção e do engenheiro de processos.

Para a execução da segunda ação definida no plano de ação, observou-se que inicialmente o cepilho era descarregado em grande quantidade, próximo ao equipamento e com isso o carregamento do moinho era contínuo. Com o andamento da atividade, a distância entre o cepilho e o equipamento ficava mais distante e isto causava momentos de desabastecimento do moinho. A segunda ação foi realizada considerando um processo para assegurar melhor abastecimento do sistema de chegada do cepilho ao moinho. Em função disso foi instalado um sistema de rosca sem fim, com comprimento de 3000 mm que permitiu a disponibilização da matéria prima no ponto de abastecimento do moinho, contribuindo para que o operador realizasse menor quantidade de movimentos e não permitisse o desabastecimento do moinho. Como ação complementar a esta, definida no item 2, foi sugerida instalação de um sistema de pré-silo.

	O Que	Como	Quem	Quando	Onde	Status
1	Corrigir processo de carregamento do cepilho	Orientação operacional e correção do procedimento operacional	Supervisor	S10/10	Moinho	OK
2	Modificar proceso de aspiração do cepilho para rosca sem fim	Instalar sistema rosca sem fim para garantir alimentação do funil	Mecânico	S10/10	Moinho	OK
3	Confeccionar pré-silo para carregar cepilho no moinho	Instalar funil para garantir alimentação constante do moinho	Mecânico	S11/10	Moinho	OK
4	Determinar a quantidade e variação do diâmetro dos furos da tela de moagem	Confeccionar tela de moagem com diferentes diâmetros de furações e avaliar granulometria obtida	Engenheiro Processo	S14/10	Moinho	OK
5	Determinar a tela de peneiramento	Instalar tela de peneiramento que atenda a condição de fornecimento de farinha de moagem adequada	Engenheiro Processo	S15/10	Moinho	OK
6	Fazer filmagem do processo de carregamento da serragem no silo	Instalar filmadora no interior do silo de serragem para avaliar a forma de carregamento	Supervisor	S20/10	Silo de Serragem	OK
7	Confeccionar quebra fluxo para eliminar a formação concentrados de serragem na entrada do silo	Instalar quebra fluxo na entrada do silo de armazenagem	Supervisor	S21/10	Silo de Serragem	OK

Fig. 2. Plano de Ação proposto para as causas prováveis identificadas para o problema de Baixo peso específico do bloco cerâmico.

A ação seguinte se caracterizou pela confecção de um sistema de pré-armazenagem de cepilho, denominado pré-silo, na extremidade de carregamento do sistema de rosca sem fim. A confecção de tal sistema foi feita em aço carbono, com dimensão de 1000 x 1000 mm na sua parte superior, para facilitar o carregamento do mesmo, assim como o direcionamento do material para o ponto de coleta da rosca sem fim. Esta ação associada ao abastecimento com rosca sem fim, contribuiu para que o abastecimento de cepilho no moinho permanecesse de forma constante, não ocorrendo falta de material para ser moído. O resultado esperado era que a serragem obtida após a moagem apresentasse granulometria mais homogênea. Porém, somente a associação destas ações não permitiu que a serragem obtida após a moagem apresentasse resultados constantes em termos de granulometria. Ambas as ações melhoraram o rendimento do sistema em aproximadamente 30%, porém a serragem ainda apresentava muita variação granulométrica. E por esta razão foram definidas mais duas ações para a obtenção de serragem mais uniforme, como pode ser visto a seguir.

Na quarta ação definida, observou-se o processo de moagem com o equipamento aberto e desligado, o que permitiu avaliar as etapas de moagem do cepilho no moinho, bem como a obtenção da serragem na tela de moagem. O moinho era abastecido pela parte superior e o cepilho era direcionado contra a tela de moagem pelas facas de corte. A tela de moagem apresentava um único tipo de furação (1,75mm de diâmetro) em toda a sua extensão, porém a quantidade de finos que passavam por esta tela era muito grande, fato que favorecia uma grande geração de material (serragem) inadequada ao uso, com grande presença de finos. A dimensão da tela de moagem era de 1500 mm de comprimento x 300 mm de largura. Surgiu então a ideia de fabricar uma tela com diferentes tipos de furações para minimizar a quantidade de finos gerados no processo de moagem do cepilho. Para fabricação da peneira adequada ao uso, foram adquiridas telas com furação de 1,25mm de diâmetro. Em seguida, foram confeccionadas 3 configurações de telas (com furos de 1,25, 1,50 e 1,75mm, divididas em três partes iguais cada) e testadas em processo para avaliar qual tipo de furação de tela apresentaria melhor configuração para atender ao processo produtivo de forma mais adequada. A especificação adotada pela empresa em equipamento denominado Granutest, consistiu na definição de parâmetros de serragem entre as malhas 50 e 70 *mesh*. Dentre os testes realizados com as peneiras com menor furação no início ou seja, menor diâmetro (1,25mm) no início da moagem e maior diâmetro no final, 1,75mm. O resultado obtido consistiu na geração de quantidade muito grande de finos, o que inviabilizou a colocação desta tela de moagem conforme a ordem da furação. Outras alternativas foram testadas, porém a que melhor resultado apresentou foi a maior furação (diâmetro 1,75mm) no início da moagem e a menor furação (diâmetro 1,25mm) no final da moagem. Com a implantação desta ação, a quantidade de finos gerada no processo de moagem reduziu consideravelmente, permitindo uma melhor utilização de matéria prima.

A quinta ação consistiu na definição de uma tela de peneiramento da serragem após moagem. A melhor definição em termos de processo de fabricação, conforme informações obtidas de ensaios realizados anteriormente na própria fábrica era uma tela com abertura de malha de 70 *mesh* (unidade de medida utilizada para a abertura de malha da tela). Assim sendo, foram realizados ensaios com três tipos de telas, logo na saída do moinho. A tela até então em utilização no equipamento era de 60 *mesh*, porém o resultado obtido não se caracterizava de forma adequada para o produto em processamento (blocos refratários). Para a realização dos testes, foram utilizadas as telas de ensaio de laboratório, acopladas (fixadas)

diretamente no sistema de peneiramento existente, iniciando com a abertura de malha de 70, 60 e finalizando com a tela de 50 *mesh*. O teste realizado com a tela de malha 70 *mesh* apresentou resultado bastante significativo, pois se caracterizou como uma malha com bastante retenção de material mais fino na peneira. O próximo teste foi realizado com tela de 60 *mesh*. Assim como o primeiro teste, este segundo ensaio também se caracterizou com bastante retenção de material mais fino na peneira, porém com quantidade retida cerca de 15% menor que o anterior. O terceiro teste foi realizado com peneira de malha 50 *mesh*. Neste ensaio a quantidade retida foi cerca de 40% menor comparada ao primeiro teste, favorecendo com que houvesse muita passagem de material fino pela peneira. Diante dos testes realizados a definição tomada pelo grupo de trabalho para definição e aplicação da malha de peneiramento em linha de produção foi para a peneira de 50 *mesh*. A definição foi balizada pela menor retenção de finos nesta peneira. Quando da realização dos dois primeiros ensaios, verificou-se que havia maior quantidade de finos retido nas peneiras e isso acarretaria um entupimento da furação, e como consequência direta a parada do processo de moagem e peneiramento de serragem, podendo causar um desabastecimento no processo produtivo. Já com a malha de 50 *mesh*, apesar de não apresentar um rendimento alto de processo, este não seria classificado como gargalo.

Através das ações anteriormente propostas no plano de ação, observou-se que a serragem obtida no processo de moagem, apesar de apresentar uma variação em termos de granulometria, atendia as especificações estabelecidas para aplicação no processo de fabricação do bloco refratário. Porém, pelas amostras de serragem colhidas na saída do silo de armazenamento em diferentes momentos do processo de fabricação, observou-se que ainda assim haviam camadas de serragem com diferentes granulometrias acondicionadas no seu interior, no entanto, não se sabia como esta situação ocorria. Para entender como o material chegava ao silo e como o mesmo era acondicionado, decidiu-se por fazer uma filmagem no interior do silo de armazenagem, caracterizando assim a sexta ação estabelecida no plano de ação. Com o sistema de abastecimento desligado foi possível instalar um foco de iluminação e através de uma porta acrílica fazer a filmagem do processo de acondicionamento da serragem no seu interior. Colocou-se o equipamento em funcionamento e ao mesmo tempo a filmagem foi iniciada, para observar o carregamento e o princípio de acondicionamento da serragem no silo. O sistema de moagem foi mantido em funcionamento constante durante toda a filmagem. Após dez minutos de funcionamento, a instalação foi desligada, a filmagem encerrada. Ela foi projetada em televisão para se obter melhor detalhe de toda a etapa de acondicionamento do material no interior do silo. Foi identificado na filmagem que o material era distribuído no interior do silo por intermédio de uma única tubulação, localizada no centro na parte superior. Quando do carregamento do silo a serragem era direcionada para a parte inferior e lá acondicionada. No entanto, em função da velocidade de ar com que o material era lançado para o interior do silo, O fluxo de material apresentava um regime muito turbulento e isto favorecia uma grande dispersão de material fino no ar (no interior do silo). Como consequência o material mais denso facilmente se depositava no fundo do silo e desta forma ocorria a formação de camadas de diferentes granulometrias no interior do silo. Com base na filmagem realizada, identificou-se que havia necessidade de modificar o formato da tubulação de direcionamento da serragem. A proposta apresentada definiu a necessidade de criação de uma derivação (quebra fluxo, como foi denominado pela equipe de trabalho). A idéia final consistiu numa tubulação (mesmo

diâmetro que a tubulação de abastecimento do silo) na forma de T invertido de forma a construir um sistema que permitisse quebrar esse fluxo turbulento. O sistema foi então instalado e para evidenciar que a ação apresentou resultado satisfatório, nova filmagem foi realizada no silo de armazenagem. Ficou evidenciado que o acondicionamento de material fino e mais denso estava ocorrendo de forma normal, sem que houvesse a formação de camadas de serragem.

5 Conclusões

A resolução de problemas em escala industrial passa por instâncias pré-definidas e que através da metodologia aqui apresentada e aplicada favorecem uma abordagem bastante abrangente do processo. Consiste em ferramenta de trabalho cotidiana de empresas que se caracterizam e se preocupam com a qualidade do produto, principalmente com os efeitos que um produto com uma configuração não apropriada em relação às especificações pode apresentar quando em uso. Na linguagem industrial estas empresas são conhecidas por apresentarem um sistema de gestão da qualidade, que permite compreender, analisar e solucionar problemas do dia a dia.

Através da metodologia aplicada na confecção do *brainstorming*, pode-se verificar a abordagem atribuída e os elementos nele especificados (mão de obra, máquina, método, medida, matéria prima e meio ambiente), que favorecem a definição de causas prováveis, levando em consideração fatos ocorridos no dia a dia do processo produtivo.

Por intermédio do Plano de Ações proposto, se evidencia que as ações planejadas foram implantadas em 100% dos casos e em conformidade em relação às datas planejadas. Por vezes, o resultado obtido não é significativo, porém se estas ações não forem considerados, poderão contribuir negativamente para o bom funcionamento de determinadas etapas do processo produtivo.

Torna-se claro, portanto, que durante a sua realização e mesmo ao final da análise, muitas ações estão intrinsecamente relacionadas. Da mesma forma, a participação do quadro operacional para identificar fatos relevantes, propor ações e desenvolver soluções de baixo custo, reduzem consideravelmente o tempo da resolução do problema.

A metodologia de análise aplicada em todo o processo de moagem permitiu a definição de padrões escritos, além da melhora de condições ergonômicas. Porém, somente através da identificação da causa raiz do problema, foi possível eliminar consideravelmente o nível de produtos em não conformes com o produto final.

6 Referências

Aliprandi, G e Cavallini M., 2005, Breve storia dei refrattari, La Metallurgia Italiana 10, p.. 63-73.

Bastos, C. e Keller, V. 1999. Aprendendo a Aprender: Introdução a Metodologia Científica, editora Vozes, 12^a edição, Petrópolis, RJ.

Bilek, V., 1978, Refratários para Revestimentos de Fornos Industriais. Joinville: Tupy.

Campos, Vicente Falconi. 1992. TQC - Controle da Qualidade Total (no estilo Japonês), 3^a edição, Belo Horizonte, MG.

Cannio, M., Hanusková, M., 2001, Os materiais refratários, Revista Cerâmica março/abril n° 63.

Cervo, Amado Luiz e Bervian, Pedro Alcino. 1983. Metodologia Científica para uso dos estudantes universitários, McGraw-Hill do Brasil, 3^a edição, São Paulo, SP.

Dal Bó, Marcelo, Barbeta, Pedro Alberto e Hotza Dachamir, 2007, Utilização de Resíduos da Indústria de Revestimentos Cerâmicos na Fabricação de Refratários Triaxiais, Revista Cerâmica Industrial 12, Janeiro/Abril.

Lakatos, Eva Maria e Marconi, Marina de Andrade. 2000. Metodologia Científica, Editora Atlas, 3^a edição, São Paulo, SP.
