



QUALIDADE E SUSTENTABILIDADE NA PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS UTILIZADOS NO DISTRITO FEDERAL E GOIÁS: ASPECTOS ENERGÉTICOS NO CICLO DE QUEIMA UTILIZANDO-SE LENHA, PÓ-DE-SERRA E BRIQUETES

Morais, Dirceu Medeiros (1); Sposto, Rosa Maria (2); Quirino, Waldir Ferreira (3)

(1) Doutorando, Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil - UnB,
e-mail: moraisdirceu@unb.br

(2) Profª. Drª., Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil,
Dept. de Eng. Civil e Ambiental - UnB, e-mail: rmsposto@unb.br

(3) Pesquisador, Dr., Laboratório de Produtos Florestais/IBAMA/DF, e-mail: waldir@lpf.ibama.br

RESUMO

A indústria cerâmica é um dos setores industriais mais antigos do mundo, em vista da abundância da matéria-prima básica, argila, e da facilidade de fabricação de seus produtos, tais como: tijolos, blocos e telhas. No entanto, embora estes produtos sejam utilizados há séculos, seu processo de produção só teve intenso desenvolvimento tecnológico durante os últimos 60 anos. De acordo com a Associação Brasileira de Cerâmica, até hoje, a indústria de cerâmica vermelha tem um papel importante para a economia nacional, gerando milhares de empregos diretos e movimentando milhões de toneladas de matérias-primas. Entretanto, esta indústria é heterogênea no Brasil, observando-se níveis diferenciados no processo de produção de componentes. Com relação aos blocos cerâmicos, tem-se que a melhoria de sua qualidade é uma necessidade hoje na maior parte do país; neste sentido, algumas ações importantes foram tomadas, dentre as quais podem ser citadas a instituição do Programa Setorial da Qualidade de blocos cerâmicos, do PBQP-H, e a revisão de sua normalização, editada em agosto de 2005. Quanto à sustentabilidade ambiental neste segmento industrial, o aspecto energético necessita de mais investigações. Observam-se distintos processos de queima de blocos cerâmicos no Brasil, empregando-se fornos contínuos à gás até fornos intermitentes à lenha, sendo este último característica das indústrias cerâmicas do Estado de Goiás e do Distrito Federal, região considerada no estudo, que abastece o mercado de Brasília. O objetivo deste trabalho é a análise da qualidade e da sustentabilidade na fase de queima de blocos cerâmicos utilizando-se pó-de-serra e briquete como alternativas energéticas mais sustentáveis para a região considerada, tendo-se como referência a lenha nativa. A metodologia consiste em: seleção das principais indústrias as quais utilizam diferentes tipos de fornos e combustíveis para queima de blocos e monitoramento do ciclo de queima com foco na questão energética nestas indústrias, incluindo: consumo de combustível, tempo e temperatura de queima e análise da qualidade do produto final.

Palavras chaves: sustentabilidade; blocos cerâmicos; pó-de-serra e briquete para queima blocos cerâmicos.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil, como qualquer processo industrial, consome energia, com destaque para a fase de fabricação de materiais e componentes. Mesmo assim, são poucos os estudos que tratam deste tema no Brasil, podendo-se citar, entre os primeiros, GUIMARÃES (1985), que abordou a análise energética na construção de edificações. Ainda, mais recentemente, têm-se alguns trabalhos desenvolvidos na área de análise de ciclo de vida, que também contém em seus escopos a análise energética, como SOARES (2005). Ainda, MANFREDINI e SATTLER (2004), que realizaram pesquisa relacionada à questão do consumo de energia nas indústrias cerâmicas do Rio Grande do Sul e SPOSTO et al. (2006), com análise de ciclo de vida de blocos cerâmicos e de concreto no Distrito Federal.

Atualmente, a busca da sustentabilidade no mundo passa a ser obrigatória, em virtude do esgotamento das matérias-primas primárias e da poluição originada pelo setor industrial como um todo. São de fundamental importância os estudos sobre fontes alternativas de energia, tendo em vista que a

exploração excessiva dos combustíveis fósseis produz expressivo desequilíbrio ao meio ambiente. Além disto, é certo que estes combustíveis no futuro se esgotarão.

DUA LIBI FILHO e CARVALHO (2002) reconhecem que, das várias indústrias que compõem a cadeia produtiva da construção civil, a indústria de cerâmica vermelha é uma das que mais consomem energia. Isso ocorre, principalmente, em alguns casos, em virtude do seu reduzido desenvolvimento tecnológico.

A produção dos blocos cerâmicos consiste de uma seqüência de operações, no entanto, três etapas fundamentais estão sempre presentes: o tratamento da matéria-prima, a moldagem da massa cerâmica e a sua queima.

A queima do bloco é constituída de três fases distintas, porém complementares. Na primeira, ocorre o aquecimento lento das peças cerâmicas; na segunda, a aplicação da queima propriamente dita (ou da temperatura máxima de queima) e na terceira, o resfriamento dos produtos cerâmicos. Estas três fases são importantes, entretanto, a primeira e a última fase servem, em geral, para diminuir a ocorrência de defeitos nos materiais cerâmicos devido o choque térmico.

Segundo vários autores, inclusive ALEXANDRE et al. (2001), a queima dos produtos cerâmicos é a fase mais importante de seu processo de produção. O consumo de energia é intenso nesta fase, principalmente quando se aplica lenha, muitas vezes sem controle dos órgãos fiscalizadores, causando danos irreparáveis ao meio ambiente.

Sabe-se que os maiores impactos ambientais causados pela indústria de cerâmica vermelha são consequentes da extração da argila e da utilização da lenha como combustível. Por outro lado, existem em várias regiões do Brasil, consideráveis quantidades de resíduos ligno-celulósicos passíveis de serem aproveitados como combustíveis, pois comumente são de baixo custo e não contribuem para aumentar a poluição ambiental comparados aos combustíveis fósseis.

Segundo WAMUKONYA (1995), no estado natural, estes substratos são vultosos, seu transporte e armazenamento podem causar poluição, queimam rápido e emitem muita fumaça. Entretanto, a sua conversão em briquete traz benefícios, além de melhorar seu desempenho energético.

A Figura 1, a seguir, apresenta amostras de briquete ligno-celulósico produzidos no município de Goianézia no Estado de Goiás.



Figura 1 – Briquetes de serragem de madeira e bagaço de cana

Até a Segunda Guerra Mundial foram produzidas grandes quantidades de briquetes, principalmente nos países europeus. No entanto, com o baixo preço dos combustíveis derivados de petróleo os demais combustíveis foram deixados em segundo plano. Conforme QUIRINO e BRITO (1991), o interesse pelo uso do briquete no Brasil sempre esteve voltado para o aproveitamento das partículas finas de carvão, oriundas das indústrias siderúrgicas, levando a maioria das pesquisas para o desenvolvimento de produtos para uso neste setor industrial. Contudo, a escassez de lenha em algumas regiões do País, está forçando os seus consumidores, tais como os produtores de cerâmica vermelha, a buscar fontes alternativas de energia.

Neste contexto, existem perspectivas para aplicação do briquete ligno-celulósico na queima do bloco cerâmico. Há, entretanto, várias questões a serem investigadas para a efetiva prática da produção e uso de briquetes no Brasil. Esta demanda deve, essencialmente, abordar aspectos relacionados ao perfeito conhecimento de suas propriedades, permitindo melhor orientação do mercado, que no futuro pode dispor de diferentes tipos de combustível de biomassa densificados e de parâmetros normativos.

De acordo com NDIEMA et al. (2002) e LI e LIU (2000), entre as vantagens do briquete comparado aos combustíveis sólidos convencionais destacam-se: facilidade de queima, aumento do poder calorífico, melhoria das características de combustão, menor incidência de cinzas e emissões poluentes, uniformidade de sua geometria e elevada massa específica.

O objetivo deste trabalho é a análise da qualidade e da sustentabilidade na fase de queima de blocos cerâmicos utilizando-se pó-de-serra e briquete como alternativas energéticas mais sustentáveis para a região em estudo, tendo-se a lenha nativa como referência.

2 METODOLOGIA

Neste trabalho foram analisadas as principais indústrias cerâmicas que fornecem blocos para o mercado imobiliário de Brasília. Foram investigados os tipos de fornos existentes e os combustíveis utilizados na queima dos blocos. Procedeu-se a realização dos ensaios da análise imediata dos principais combustíveis utilizados nestas indústrias e o monitoramento dos fornos cerâmicos, com ênfase nas questões energéticas, incluindo: consumo de combustível, tempo e temperatura de queima do bloco. E por fim, foi também realizada a análise da qualidade dos blocos produzido nos diversos tipos de fornos da região em estudo.

3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Conforme pesquisa coordenada pelo SINDUSCON/DF em 2005, cinco indústrias cerâmicas dos Estados de Goiás e Minas Gerais são responsáveis por oitenta e nove por cento dos blocos cerâmicos utilizados no Distrito Federal, pelas construtoras associadas àquela entidade. Nestas indústrias cerâmicas existem os seguintes tipos de fornos: intermitente (forno de chama invertida), semicontínuo (forno hoffman) e contínuo (forno túnel convencional) e seus principais combustíveis são: lenha nativa e pó-de-serra.

A seguir, são apresentados os resultados da análise imediata do pó-de-serra, da lenha e do briquete ligno-celulósico e do acompanhamento do processo de queima do bloco nos fornos referidos anteriormente, como também, da caracterização dos blocos produzidos nos fornos analisados.

3.1 Análise imediata

Os ensaios que compõe a análise imediata foram realizados no Laboratório de Produtos Florestais do IBAMA/DF, tendo-se como base a ABNT NBR 8112:1986 para carvão vegetal, pois não existe norma brasileira para os combustíveis de biomassa densificados. A Tabela 1, a seguir, apresenta o resultado da análise imediata do pó-de-serra, da lenha nativa e do briquete ligno-celulósico.

Tabela 1 – Caracterização dos combustíveis usados na fabricação do bloco cerâmico

PROPRIEDADE	PÓ-DE-SERRA	LENHA	BRIQUETE
Teor de umidade [%]	72,02	59,95	16,74
Teor de cinza [%]	3,50	3,30	3,29
Teor de matérias voláteis [%]	16,95	12,90	15,78
Teor de carbono fixo [%]	79,55	83,80	80,93
Massa específica a granel [kg/m ³]	168,13	300	600
PCS (base seca) [kcal/g]	4882,85	4786,01	4596,95

Uma das características mais importantes dos combustíveis de biomassa é o seu teor de umidade, pois, quanto mais úmido o combustível menor a sua eficiência energética. De acordo com a Tabela 1, percebeu-se que o briquete possui o menor teor de umidade para a combustão. Segundo vários autores, inclusive VALE (2000), a lenha para combustão não deve possuir teor de umidade superior a 25%, pois teores acima deste valor reduzem a temperatura de combustão e promovem a formação de gases, eliminados pela chaminé, que em diferentes condições produziriam energia.

Segundo WAMUKONYA (1995), cinzas são substâncias que não se queimam; portanto, não produzem calor e conforme o seu aumento no combustível ela reduz o poder calorífico. Assim, deve-se evitar combustível com alto teor de cinza. Conforme a Tabela 1, observou-se que quem apresentou maior teor de cinza foi o pó-de-serra, podendo ser justificado pela adição de impurezas, tal como a areia, incorporada no seu transporte ou armazenamento.

BRITO e BARRICHELO (1982) afirmam que, com exceção do carvão, todos os combustíveis sólidos, antes de se queimarem, têm a maior parte de seus materiais voláteis evaporado, e em seguida, o material restante sofre às reações de combustão. Para VALE (2000), isto faz com que os gases de combustão se difundam em uma ampla região do forno, não permitindo a obtenção de elevadas temperaturas. Deste modo, combustíveis com altos teores de materiais voláteis são rapidamente queimados. Conforme a Tabela 1, quem apresentou maior teor de matérias voláteis foi o pó-de-serra.

Quanto ao carbono fixo, tem-se que este componente da biomassa é o principal responsável pela produção de energia durante a combustão. O teor de carbono contido na madeira é maior que em substratos agrícolas. Isto justifica porque na Tabela 1 o PCS da lenha foi maior que o do briquete, pois, na fabricação do briquete, foi adicionado substrato agrícola. Contudo, tem-se que advertir que o resultado do poder calorífico apresentado na Tabela 1 refere-se ao poder calorífico superior (PCS, ou poder calorífico bruto), onde foi considerada a energia empregada para vaporização da água. Na prática, não se recupera este calor e o que é obtido é o poder calorífico inferior (PCI), onde será descontado o calor utilizado para evaporação da água. Consequentemente, quando maior o teor de umidade do combustível menor seu poder calorífico. Deste modo, entre pó-de-serra, lenha e briquete, o que deve apresentar maior rendimento energético é o briquete.

3.2 Consumo de combustível na queima do bloco cerâmico

No forno intermitente e no semicontínuo o consumo de combustível foi calculado exclusivamente na fase de queima (ou fase de temperatura máxima). No forno contínuo, pela dificuldade de se definir o tempo exato que as vagonetas percorrem cada uma das três zonas do forno (zona de preaquecimento, zona de queima e zona de resfriamento), o consumo de combustível foi calculado em todo o ciclo de queima do bloco, isto é, na fase de preaquecimento, na fase de queima e na fase de resfriamento. A Tabela 2, a seguir, apresenta o consumo de combustível nos fornos pesquisados.

Tabela 2 – Consumo de combustíveis no processo de queima do bloco

FORNO	PRODUÇÃO (unidade)	CONSUMO LENHA (kg/1000 blocos)	CONSUMO PÓ-DE-SERRA (kg/1000 blocos)
Intermitente	15 000	349,09	220,06
Semicontínuo	5 400	509,00	NSA
Contínuo	25 000	313,92	NSA

Obs.: NSA = não se aplica

Conforme a Tabela 2 observou-se que o consumo de lenha do forno semicontínuo foi o mais expressivo; em segundo lugar ficou o forno intermitente e por fim o forno contínuo. Entretanto, sabe-se que o forno semicontínuo e o contínuo aproveitam parte do calor de combustão da fase de queima, para a fase de preaquecimento, ao contrário do forno intermitente, onde se espera que a estrutura do forno e os blocos esfriem, para iniciar a sua descarga. Apesar do forno semicontínuo também

desperdiçar parte do calor de combustão, havia expectativa que o seu consumo de combustível fosse inferior ao consumo do forno intermitente, o que não foi constatado nas medições realizadas.

Quanto à determinação do consumo real de briquetes ligno-celulósicos, esta se encontra em fase de análise. Para definir o consumo inicial de briquetes, procedeu-se à queima do bloco com lenha, determinando-se o seu consumo nos três fornos em estudo. Tendo em vista que o comportamento da combustão do briquete é superior ao da lenha, a partir dos consumos de lenha, estimaram-se os consumos iniciais de briquete na queima do bloco cerâmico.

3.3 Medidas da temperatura da câmara de combustão

As indústrias cerâmicas investigadas apresentaram graus de tecnologia variados. Somente a indústria que continha o forno contínuo possui um controle de temperatura na sua câmara de combustão. A indústria cerâmica do forno intermitente como a do forno semicontínuo não utilizavam sistema mecânico algum de controle térmico. Nestas duas últimas indústrias, o operador do forno, unicamente com sua experiência profissional, avaliava se devia iniciar ou concluir a queima dos blocos.

No forno contínuo foram registradas medidas médias de temperatura máxima de 87,25°C e 703,73°C, nas zonas de preaquecimento e de queima, respectivamente.

3.4 Duração da fase de queima do bloco cerâmico

Quanto a determinação do tempo de queima do bloco nos fornos em estudo, foi mais fácil de medir esta variável no forno intermitente, já que neste forno esta fase é mais bem definida, com identificação clara dos momentos de início e fim da queima do bloco, comparado aos outros fornos. A Tabela 3, a seguir, apresenta a duração da queima do bloco nos fornos investigados.

Tabela 3 – Duração do processo de queima do bloco

FORNO	DURAÇÃO DA QUEIMA
Intermitente	17 horas (fase de queima de toda carga do forno)
Semicontínuo	3 horas (fase de queima de uma cela de combustão)
Contínuo	29,39 horas (fases de preaquecimento, de queima e de resfriamento)

Os cálculos da duração da queima dos fornos intermitente e semicontínuo foram medidos apenas na fase de queima do bloco. No forno contínuo a duração da queima do bloco foi computada no ciclo de queima completo, isto é: na fase de preaquecimento, na fase de queima e na fase de resfriamento, conforme referido anteriormente.

No forno semicontínuo, a queima dos blocos ocorre em cada cela de combustão. Todavia, semelhante ao que ocorre no forno contínuo, parte do calor produzido da queima de uma cela é aproveitado no preaquecimento da estrutura do forno e dos blocos das celas seguintes, conforme já comentado anteriormente. Na Tabela 3, o resultado referente à duração da queima do forno semicontínuo refere-se ao tempo usado na queima dos blocos cerâmicos de uma cela de combustão.

3.5 Características dos blocos cerâmicos queimados com pó-de-serra e com lenha

As amostras dos blocos cerâmicos foram coletadas nas indústrias cerâmicas que contém os fornos em estudo e em função do combustível utilizado, foi efetuada a caracterização do bloco. Fora realizados inspeção geral e por ensaios, conforme prescritos na ABNT NBR 15270:2005. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaio de Materiais do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília e a síntese dos resultados é apresentada na Tabela 4, a seguir.

Tabela 4 – Síntese dos resultados da inspeção geral e por ensaios dos blocos cerâmicos

REQUISITO	PÓ-DE-SERRA	LENHA		
	Intermitente	Intermitente	Semicontínuo	Contínuo
Identificação	✗	✗	✗	✓
Caracterização visual	✗	✗	✗	✗
Medidas das faces	✗	✗	✗	✗
Espessura paredes externas	✗	✗	✓	✗
Espessura dos septos	✗	✗	✓	✓
Desvio em relação esquadro	✗	✗	✗	✓
Planeza das faces	✗	✗	✓	✗
Resistência à compressão	✗	✗	✗	✓
Índice de absorção inicial	✓	✓	✓	✓

Obs.: ✓ = requisito aprovado; ✗ = requisito reprovado.

4 CONCLUSÕES

Pesquisas realizadas de Norte a Sul do Brasil revelam que o combustível mais utilizado nas indústrias de cerâmica vermelha brasileiras até hoje é a lenha. Entretanto, já se percebe a escassez desta matéria-prima, principalmente em algumas regiões onde a opção do gás natural ainda não é realidade, tais como no Distrito Federal e no Estado de Goiás.

Observam-se que práticas simples, tal como a secagem natural da lenha, melhoram o seu potencial energético, no entanto, estas são pouco adotadas pelos produtores de blocos, alguns, por falta de conhecimento técnico, outros, por entender que a matéria-prima, a lenha, é eterna.

Conforme apresentado na seção 3.1, o briquete de resíduos ligno-celulósicos pode ser uma solução, como fonte de energia, para a indústria cerâmica brasileira, no entanto, ainda são necessários mais estudos sobre este tema, por exemplo, no que se refere a análise de sua viabilidade econômica. Esta última está sendo realizada pelos autores e será apresentada em trabalhos futuros.

Com relação aos tipos de fornos, observou-se que a maioria das indústrias de cerâmica vermelha da região em estudo utiliza o forno intermitente. Conforme a seção 3.2, dos três modelos de fornos investigados, este é o que mais consome combustível, sendo que parte do calor gerado na queima dos blocos é totalmente desperdiçado após a queima. Nenhuma indústria cerâmica que possuem este tipo de forno na região em estudo aproveita os gases de combustão na fase de preaquecimento dos blocos.

Quanto à duração da queima do bloco, um aspecto preocupante foi o tempo que os fornos intermitentes e semicontínuos ficam aguardando o esfriamento da estrutura do forno e das peças. Conforme a seção 3.3, o tempo de queima no forno intermitente foi próximo do que foi usado no forno contínuo, nas três fases da queima do bloco.

Em todo forno semicontínuo existem quarenta e oito celas de combustão. Multiplicando-se este número por três, que conforme a Tabela 3 é o tempo de queima de uma cela, a queima em todo este forno duraria cento e quarenta e quatro horas. No entanto, para queimar esta mesma quantidade de blocos no forno contínuo consumiria cento e uma horas, o que causaria uma economia de quarenta e dois por cento no período de queima dos blocos.

Conforme os resultados da caracterização dos blocos apresentados na seção 3.5, os produtores de blocos ainda têm muito que evoluir. A ABNT NBR 15270:2005 estabelece, na inspeção geral, a identificação do fabricante e a inscrição das dimensões do bloco em milímetros em uma de suas faces, dentre outros requisitos, sendo que estes não foram atendidos pela maioria das amostras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 8112; Carvão vegetal – Análise imediata. Rio de Janeiro, 1986.
- _____ NBR 15270; Componentes cerâmicos – Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
- _____ NBR 15270; Componentes cerâmicos – Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
- ALEXANDRE, J. et al. [CD-ROM] Análise das alterações das propriedades mecânicas de produtos cerâmicos em função do tempo de queima. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45, Florianópolis - SC, Brasil. 2001.
- BRITO, J. O. e BARRICHELO, L. E. G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustível. In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COMO RECURSOS FLORSTAIS, 2, 1982, São Paulo. p 101-137.
- DUA LIBI FILHO, J. e CARVALHO, O. O. (2002). Os números da vermelha. Revista mundo cerâmico, 83, set. São Paulo, SP, Brasil. p. 34-38.
- GUIMARÃES, G. D. Análise energética na construção de habitações. Rio de Janeiro, 1985. 228p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- LI, Y. e LIU, H. High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel. Biomass and Bioenergy, n. 19, p. 177-186, 2000.
- MANFREDINE C. e SATTLER, M. A. [CD-ROM] O consumo de energia no setor de cerâmica vermelha no RS: Aspectos qualitativos e quantitativos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, São Paulo - SP, Brasil. 2004.
- NDIEMA, C. K. W. et al. Densification characteristics of rice straw. In: Journal of the Institute of Energy, v 75, p. 11-13, 2002.
- QUIRINO, W. F. e BRITO, J. O. Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal. Brasília: Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. 1991. 16p.
- SOARES, S. R. Análise do ciclo de vida de produtos (revestimento, blocos e telhas) do setor cerâmico da indústria de construção civil. Relatório Parcial I/IV, Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <http://www.ciclodewvida.ufsc.br>. Acesso em 10 mar 2005.
- SPOSTO, R. M. et al. [CD- ROM] Management and technology for quality and sustainability of masonry components in Brasilia's market. In: CIB W107 CONSTRUCTION IN DEVELOPING COUNTRIES INTERNATIONAL SYMPOSIUM - CONSTRUCTION IN DEVELOPING ECONOMIES: NEW ISSUES AND CHALLENGES, Santiago, Chile, 2006.
- VALE, A. T. Caracterização da biomassa lenhosa de um cerrado sensu stricto da região de Brasília para o uso energético. Botucatu, 2000. 111p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista.
- WAMUKONYA, L. e JENKINS, B. Durability and relaxation of sawdust and wheat-straw briquettes as possible fuels for Kenya. Biomass and Bioenergy, v. 8, n. 3, p. 175-179, 1995.