sidac

sistema de informação
do desempenho ambiental
da construção

Relatório de coleta de dados

BLOCOS E TELHAS CERÂMICOS

sidac

sistema de informação
do desempenho ambiental
da construção

Relatório de coleta de dados

BLOCOS E TELHAS CERÂMICOS

Apoio

Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation
and Nuclear Safety

of the Federal Republic of Germany

Cooperação técnica

CBCS
Conselho Brasileiro de
Construção Sustentável

Coordenação

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

Essa publicação foi organizada com o apoio financeiro do Instrumento de Parceria da União Europeia com o Ministério Federal Alemão para o Meio Ambiente, Conservação da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) no contexto da Iniciativa Climática Internacional (IKI). O conteúdo dessa publicação é de inteira responsabilidade dos seus organizadores e não necessariamente reflete a visão dos financiadores.

SUPERVISÃO DA COLETA DE DADOS
Me. Lidiane Santana Oliveira (USP)
Me. Fernanda Belizario Silva (IPT/USP)
Dr. Daniel Costa Reis (USP)

EQUIPE RESPONSÁVEL PELOS DADOS DE BLOCOS E TELHAS CERÂMICOS[1]
Me. Fabiana da Rocha Cleto (IPT): levantamento de dados, análise dos dados, inserção dos dados no sistema, relatório
João Felipe von Mühlen (UFPR): levantamento de dados
Me. Fernanda Belizario Silva (IPT/USP): análise dos dados, relatório, supervisão

Como citar este documento:
CLETO, F. R.; VON MÜHLEN, J. F.; BELIZARIO-SILVA, F. Relatório de coleta de dados para o Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção: blocos e telhas cerâmicos. São Paulo: SIDAC, 2022.

[1] Declaração de crédito dos autores: levantamento de dados: levantamento de dados de inventário de ciclo de vida dos produtos (primários ou secundários); análise dos dados: compilação e análise dos dados de inventário de ciclo de vida dos produtos; inserção dos dados no sistema: cadastro dos processos elementares no SIDAC; relatório: elaboração do relatório de coleta de dados; supervisão: supervisão da coleta e análise dos dados de inventário de ciclo de vida dos produtos; apoio: apoio às atividades do projeto.

Sumário

1 Introdução 1
2 Elaboração dos processos elementares 1
2.1 Descrição dos produtos 1
2.2 Fluxograma dos processos elementares 2
2.3 Descrição dos processos elementares 3
2.4 Fontes de dados 7
2.5 Alocação 8
3 Métodos de cálculos e considerações 8
3.1 Considerações gerais 8
3.2 Métodos de cálculo 12
3.2.1 Extração de argila 12
3.2.2 Consumo de argila 12
3.2.3 Consumo de água 13
3.2.4 Consumo de eletricidade 13
3.2.5 Consumo de combustível dos fornos e secadores 14
3.2.6 Origem da lenha 16
3.2.7 Consumo de diesel 18
3.2.8 Transporte da argila 18
3.2.9 Transporte do combustível 19
3.2.10 Resíduo 19
3.2.11 Massa dos produtos 19
3.3 Itens desconsiderados 20
4 Inventários dos processos elementares 21
5 Análise dos indicadores 25
6 Considerações finais 29
7 Referências 30
8 Apêndice - Verificação das informações disponíveis nas referências consultadas 33

1 Introdução

O objetivo desse relatório é apresentar os procedimentos adotados na coleta e no processamento dos dados genéricos do inventário de ciclo de vida de blocos e telhas cerâmicos, realizado com base em literatura nacional. Assim, aqui são apresentados: o fluxograma dos processos elementares da extração de argila e da produção de blocos e telhas cerâmicos, considerando a fronteira do portão ao portão (*gate to gate*), dados qualitativos e quantitativos (fluxos de entrada e saída) que descrevem esses processos, bem como todas as conversões realizadas para adequação dos dados ao SIDAC e elaboração do inventário do ciclo de vida dos produtos.

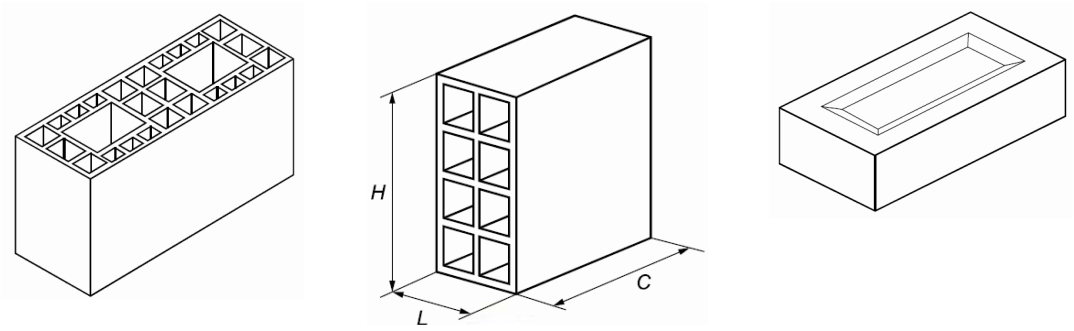
2 Elaboração dos processos elementares

2.1 Descrição dos produtos

A coleta de dados foi realizada considerando dados de literatura referentes à extração de argila e à produção de blocos e telhas cerâmicos no Brasil. Os blocos cerâmicos devem atender aos requisitos da norma técnica nacional ABNT NBR 15270-1: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria - Parte 1: Requisitos, referentes às suas características geométricas, físicas e mecânicas. As telhas cerâmicas, por sua vez, devem atender aos requisitos da ABNT NBR 15310: Componentes cerâmicos – Telhas – Terminologia, requisitos e métodos de ensaio.

Adotam-se aqui os seguintes termos indicados pelas referidas normas técnicas:

- Bloco: componente cuja altura seja superior a 115 mm;
- Bloco cerâmico de paredes vazadas: componente de alvenaria com paredes vazadas (Figura 1 a e b);
- Bloco estrutural: componente de alvenaria que possui furos ou vazados prismáticos, produzido para ser assentado com furos ou vazados na vertical, com características e propriedades específicas para alvenaria estrutural (Figura 1a);
- Bloco/tijolo de vedação: componente de alvenaria não participante da estrutura, que possui furos ou vazados prismáticos perpendiculares às faces que os contém (podem ser furos verticais ou horizontais) (Figura 1 a e b);
- Tijolo cerâmico maciço: componente de alvenaria que possui todas as faces plenas de material, podendo apresentar rebaixos de fabricação em uma das faces de maior área (Figura 1c).



(a) (b) (c)

Figura 1 – Ilustrações de blocos e tijolos cerâmicos: a) bloco cerâmico com furos na vertical; b) bloco/tijolo cerâmico com furos na horizontal; c) tijolo cerâmico maciço.

São considerados os seguintes tipos de blocos cerâmicos (entre parênteses estão as dimensões nominais: largura x altura x comprimento). As denominações "VED" e "EST" se referem, respectivamente, a blocos de vedação e estruturais, e o número após essa sigla se refere à resistência à compressão (f_b), sendo 15 para f_b = 1,5 MPa e 40 para f_b = 4,0 MPa:

- VED15 (11,5 x 14 x 24) cm;
- VED15 (09 x 19 x 19) cm;
- VED15 (14 x 19 x 29) cm;
- EST40 (11,5 x 19 x 39) cm;
- EST40 (14 x 19 x 29) cm;
- EST40 (14 x 19 x 39) cm;
- EST40 (19 x 19 x 39) cm;

Quanto ao tijolo cerâmico maciço, foi considerado o de dimensões (11,5 x 5,3 x 24) cm.

No caso das telhas, são considerados os seguintes tipos:

- Romana;
- Capa;
- Colonial;
- Paulistinha;
- Portuguesa;
- Americana;
- Francesa.

A seleção dos componentes cerâmicos para a 1ª versão do SIDAC foi feita em comum acordo com a ANICER (Associação Nacional da Indústria Cerâmica), tendo em vista os produtos mais consumidos no mercado brasileiro.

A unidade declarada para a argila é 1 tonelada, enquanto para os blocos e telhas é 1 unidade de produto.

2.2 Fluxograma dos processos elementares

O fluxograma dos processos elementares associados à extração de argila e à produção de blocos e telhas cerâmicos é apresentado na Figura 2.

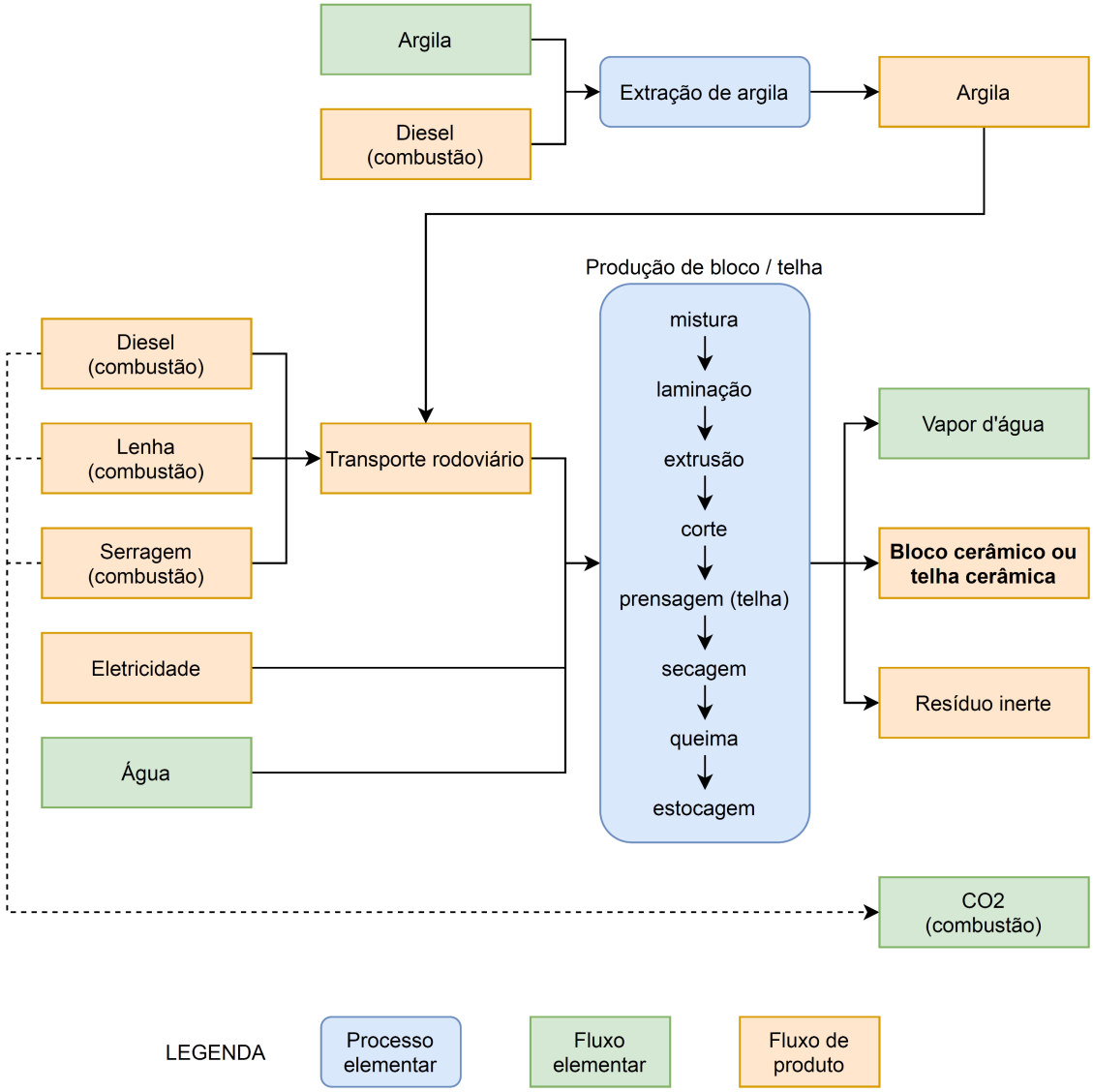


Figura 2 – Processos elementares de extração de argila e de produção de blocos e telhas cerâmicos. A única diferença entre o processo de produção dos blocos e das telhas é a etapa de prensagem, que ocorre apenas para as telhas cerâmicas.

2.3 Descrição dos processos elementares

A produção de cerâmica vermelha é feita a partir de matérias-primas compostas por diferentes tipos de argila, água e eventualmente aditivos.

A primeira etapa é a **extração da argila** (Figura 3), principal matéria-prima dos produtos cerâmicos. Esse processo é feito a céu aberto, com o uso de equipamentos tais como escavadeiras e pás-carregadeiras. Essa argila passa por um período de descanso, sendo armazenada em pequenos lotes, para acelerar o processo de decomposição da matéria orgânica e sais solúveis, os quais podem ser prejudiciais à qualidade do produto cerâmico (FIEMG; FEAM, 2013).

Figura 3 – Extração da argila (Fonte: https://materioteca.paginas.ufsc.br/ceramica-vermelha/)

Após o descanso da matéria-prima, começa a etapa de **preparação da massa cerâmica** (Figura 4), onde se misturam os diversos tipos de argila, água e resíduos (por exemplo, rebarbas de blocos úmidos, pós-extrusão e pré-queima), em dosagens apropriadas. Para que se tenha uma massa de boa qualidade, precisa-se garantir uma boa homogeneização; para isso, a massa é levada ao desintegrador, para fazer a redução apropriada dos grãos e homogeneização. A massa passa, então, por um moedor/misturador onde se adiciona água à massa para que a mesma tenha a plasticidade ideal para o processo de conformação (BERNI, 2010).

Figura 4 - Preparação da massa cerâmica (Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=kIQ-vX0OLHM).

Antes da extrusão, a massa passa por um processo de **laminação,** ou seja, a massa é transferida para o laminador, visando diminuir a sua granulometria, completar a homogeneização e cortar a massa em lâminas. O laminador age diminuindo os vazios entre as partículas da argila e distribuindo melhor a umidade nas lâminas que estão sendo formadas

(ROSSI, 2017). O objetivo dessa etapa é conseguir uma massa argilosa mais densa, eliminando bolhas de ar e aglomerados (MME *et al.*, 2018), ajudando assim a minimizar possíveis defeitos nas peças produzidas.

Após a laminação, tem-se a etapa de **extrusão** (Figura 5), na qual a massa passa pela para extrusora, também conhecida como maromba, que é responsável por dar forma à seção transversal do produto. Nessa etapa a peça é forçada, por meio de um pistão ou eixo helicoidal, a passar por um molde ou bocal com forma definida de acordo com a peça a ser produzida. Da extrusora, saem uma coluna extrudada, no caso da produção de blocos, ou um tarugo para a fabricação de telhas (FIEMG; FEAM, 2013).

Figura 5 - Etapa de extrusão (Fonte: http://ceramicatatui.com.br).

A próxima etapa é o **corte** das peças produzidas (Figura 6). Nessa etapa as peças, ainda úmidas, são cortadas no comprimento adequado, de forma automatizada ou manual. Após o corte, as peças são inspecionadas visualmente para se fazer o descarte das peças defeituosas, que são reintroduzidas no começo do processo.

Figura 6 - Corte das peças (Fonte: https://youtu.be/ZRIW6PdEEh8).

No caso do processo de produção das telhas cerâmicas, existe uma etapa adicional que é a **prensagem**. As peças extrudadas passam por prensas onde adquirem o formato final de cada tipo de telha.

A próxima etapa é de **secagem**, que pode ser feita de duas formas: natural ou artificial. Essa é uma etapa delicada do processo, pois, durante a secagem, as peças podem apresentar

defeitos, caso o processo seja feito de forma errada. A secagem deve ocorrer sob condições controladas, para que a saída de água ocorra gradualmente e de forma homogênea, de modo a evitar fissuras ou deformações na peça. A secagem natural aproveita as condições climáticas da região, pois as peças ficam expostas ao ar livre ou em galpões; entretanto, trata-se de um processo sujeito à variação das condições ambientais, que pode resultar na variação das características dos produtos. Já a secagem artificial, que utiliza combustíveis como fonte de calor (ou o calor recuperado do forno), tem um maior controle das condições de processo, como taxa de aquecimento, ventilação e umidade relativa do ar (MME *et al.*, 2018).

Após a secagem, as peças são encaminhadas para o forno, na etapa de **queima** (Figura 7), que é a principal etapa do processo, tanto do ponto de vista técnico, pois é a queima faz com que as peças adquiram suas propriedades finais, como resistência mecânica, cor, dimensões, entre outros; quanto do ponto de vista ambiental, pois é nessa etapa que se dá a maior parte do consumo de energia e emissões de poluentes na fabricação de blocos e telhas. Em geral, a temperatura de queima para tijolos está entre 750°C a 900°C e para telhas está entre 900°C a 950°C (BERNI, 2010).

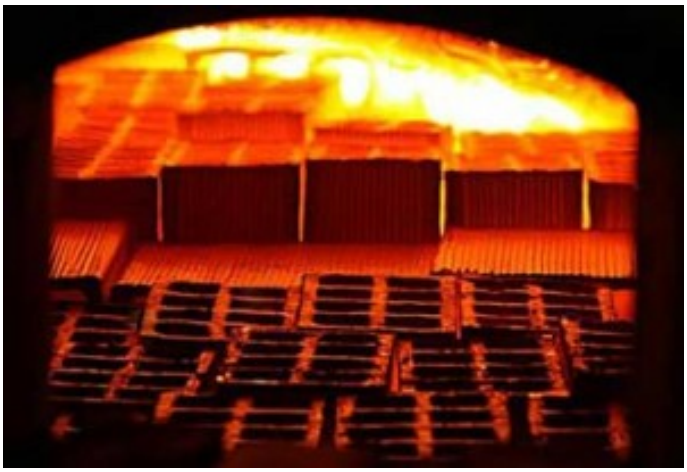


Figura 7 - Queima dos blocos cerâmicos (Fonte: https://www.ceramicasalema.com.br/processo-produtivo/).

Há diferentes tipos de fornos para a produção de componentes cerâmicos. Os fornos podem ser classificados nas seguintes categorias:

- Intermitente: os produtos são introduzidos no forno, adiciona-se o combustível, realiza-se a queima, o resfriamento e então os produtos são retirados do forno; ou seja, a cada lote de produto o forno é aquecido e resfriado, o que requer um maior consumo de energia. Enquadram-se nesta categoria os fornos abóbada, paulistinha e garrafão. O forno paulistinha caracteriza-se por queimadores laterais e é considerado pouco econômico, porém tem baixo custo de manutenção (DO Ó, 2016). O forno garrafão é semelhante ao forno tipo abóbada, sendo diferenciado pelo tipo de chaminé (MME *et al.*, 2018). Este forno tem o aquecimento inicial de forma bastante lenta a temperatura de queima pode levar até 70 horas para ser alcançada (NICOLAU, 2012);
- Semi-contínuo: considera-se essa categoria de forno quando dois ou mais fornos intermitentes estão justapostos, ou seja, quando um forno está queimando, o outro está esfriando, e outro ainda está carregando ou descarregando. Enquadra-se nessa categoria o forno tipo Hoffmann, que possui diferentes câmaras e utiliza o ar quente das câmaras em uso para realizar o pré-aquecimento das próximas câmaras (ROSSI, 2017);

- Contínuo: os produtos passam pelo forno, sendo aquecidos, queimados e resfriados em regiões diferentes do forno, de modo que a queima nunca cessa. Enquadram-se nesta categoria os fornos tipo túnel. Como o próprio nome diz, esse tipo de forno consiste em um longo túnel, com os queimadores dispostos na região central. O material é introduzido em vagonetas, que passam por um estágio de pré-aquecimento até chegar ao centro do túnel, onde ocorre a queima. Depois da queima, o material vai resfriando até por fim sair do túnel (ROSSI, 2017).

O principal tipo de combustível utilizado para a fabricação de componentes cerâmicos é a biomassa, seja na forma de lenha, seja na forma de subprodutos/resíduos de outras indústrias, como, por exemplo, o pó de serra proveniente da indústria moveleira. Há algumas fábricas que utilizam combustíveis fósseis, tais como óleo combustível e gás natural, mas, segundo especialistas, sua participação é irrisória em escala nacional, em comparação ao uso de biomassa por esta indústria.

Após a queima, as peças passam pela inspeção, onde são detectadas falhas, como por exemplo, trincas e peças excessivamente queimadas. As peças que passarem pela inspeção são liberadas para serem embaladas e armazenadas, na etapa de **estocagem**.

O transporte das peças ao longo do processo pode ser feito de forma manual, auxiliado por equipamentos (por exemplo, empilhadeiras) e/ou por esteiras movidas a energia elétrica. A maior parte das fábricas também conta com pás carregadeiras para descarga, homogeneização e manejo do estoque de argila. Algumas fábricas também reportam o uso de geradores a diesel para garantir o fornecimento contínuo de energia elétrica para os equipamentos.

2.4 Fontes de dados

Os dados foram coletados da literatura nacional, contemplando dissertações de mestrado, teses de doutorado, trabalhos de conclusão de cursos de graduação, artigos de periódico, artigos de evento e relatórios. A maior parte desses trabalhos realizou coletas de dados primários junto a fabricantes brasileiros de blocos e telhas. No total, foram obtidos 66 dados, ou seja, estimativas de fluxos de fábricas ou intervalos de faixas de valores, parte dos quais compôs a amostra de informações utilizada nesse estudo, cuja análise será aprofundada no item 3 deste relatório.

Entre as referências listadas, não constam aquelas que não continham nenhum dado passível de aproveitamento; na pesquisa prévia, localizaram-se ao menos 6 referências que não puderam ser aproveitadas, seja por não terem apresentados dados úteis para o SIDAC, seja porque utilizaram dados internacionais (exemplo: ecoinvent).

Para os blocos e telhas, a maior parte dos dados obtidos está concentrada nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, particularmente no Estado do Rio Grande do Sul, pois apenas uma das referências consultadas (MANFREDINI; SATTLER, 2005) levantou dados de 20 fábricas naquele Estado (Figura 8). Embora tenha se buscado ativamente dados das regiões Centro Oeste e Norte, não foram encontradas informações no formato requerido para o SIDAC.

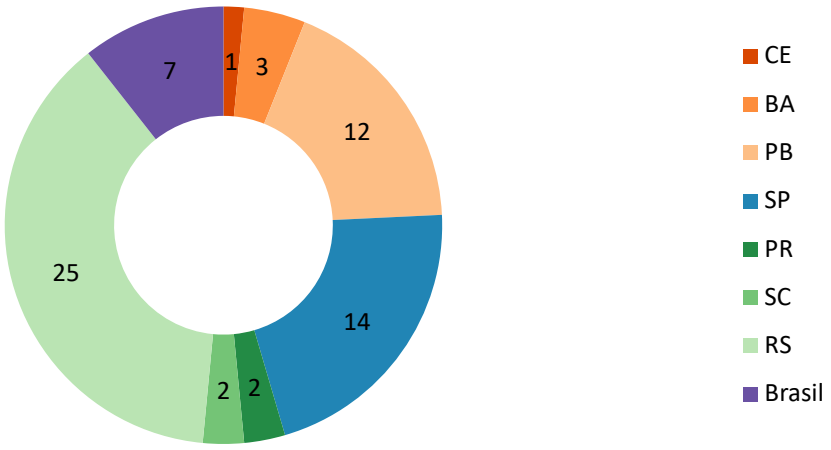


Figura 8 – Origem dos dados que compõem a amostra total de dados analisada para o SIDAC.

Houve grande dificuldade na coleta de dados referentes à extração de argila. Em muitos casos, a extração da argila e a fabricação dos produtos cerâmicos são reportados conjuntamente, e normalmente não é possível separar esses processos elementares. Por isso, o processo elementar de extração de argila se baseia em apenas cinco referências, sendo duas específicas da extração de argila e três resultantes da desagregação de dados da fabricação de produtos de cerâmica vermelha.

2.5 Alocação

Usualmente, fábricas de blocos cerâmicos produzem blocos de diferentes formatos: bloco inteiro, meio-bloco (e outras divisões), canaletas, entre outros. Além disso, é comum a produção de blocos de diferentes famílias, ou seja, de diferentes dimensões nominais do bloco principal. Da mesma forma, fábricas de telhas podem produzir telhas de diferentes formatos. Como o processo de produção é essencialmente o mesmo, independente das dimensões nominais do produto, adotou-se a alocação proporcional à massa dos produtos.

3 Métodos de cálculos e considerações

3.1 Considerações gerais

Embora tenham sido localizadas diversas referências com dados de ciclo de vida da produção de blocos e telhas cerâmicos, observa-se que o conjunto de 66 dados não constitui uma amostra estatisticamente representativa em escala nacional, pois, segundo a ANICER, há aproximadamente 5.600 olarias no Brasil (ANICER, 2022). Além disso, os dados estão concentrados nas regiões Sul e Sudeste, como destacado na Figura 8. Tais características exigiram uma postura conservadora no tratamento estatístico dos dados, com procedimentos que serão detalhados nos itens a seguir.

Dos 66 dados coletados, apenas 10 têm uma descrição inequívoca dos produtos contemplados, com informações sobre o formato das peças e suas dimensões nominais. Os demais dados referem-se genericamente a blocos, tijolos (não necessariamente maciços) e, em alguns casos, apenas ao setor de cerâmica vermelha, sem especificar se os dados são referentes a blocos ou telhas. Essa falta de informação impossibilitou a obtenção de dados específicos para cada um dos tipos de produtos a serem inseridos no SIDAC.

Como alternativa, optou-se por utilizar os dados que apresentavam as informações por unidade de massa (por exemplo, consumo de combustível por kg de cerâmica), pois, multiplicando-se esses valores pela massa dos produtos, informada pela ANICER, é possível obter os fluxos unitários para cada tipo de produto inserido no SIDAC. Por isso, foram descartadas as referências que só disponibilizaram informação por unidade de produto (Figura 9), visto que, na maior parte dos casos, não dá para saber de qual produto se trata. Isso resultou na exclusão de 28 dados, de referências que só informaram dados por unidade de produto: (ARLINDO, 2019; DE ARAÚJO; DE BRITO, 2015; DO Ó, 2016; GRIGOLETTI, 2001; LOPES; BRITO; DE MOURA, 2016), restando 38 dados que foram informados por massa de produto (kg). Esta exclusão teve impacto na representatividade geográfica dos dados de blocos e telhas, gerando uma concentração de informações na região Sul, a maioria apenas no Estado do Rio Grande do Sul (Figura 10).

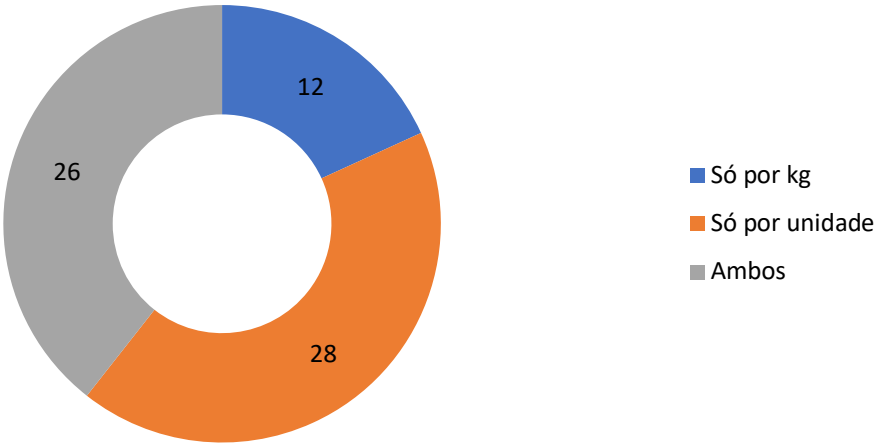


Figura 9 – Formato dos dados que compõem a amostra total de dados analisada para o SIDAC.

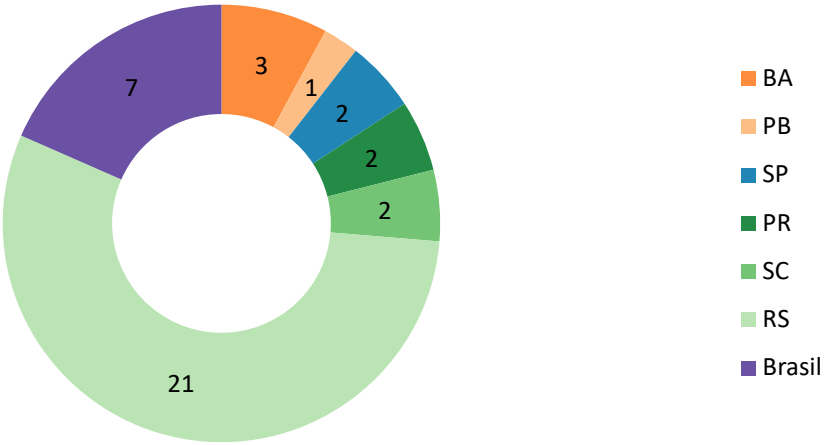


Figura 10 – Origem dos dados que compõem a amostra de dados aproveitada para o SIDAC (considerando apenas os dados que permitem o cálculo dos fluxos por kg de produto).

Entre os dados remanescentes, a maioria é de blocos vazados (Figura 11). Há alguns dados de tijolos maciços, e dados que se referem a blocos e tijolos sem permitir sua distinção. Há menos dados de telhas do que de blocos.

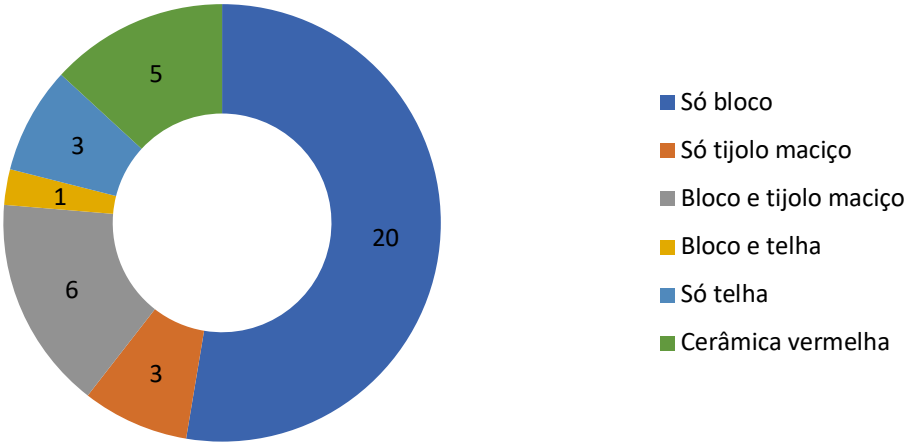


Figura 11 – Tipos de produto entre os dados aproveitados para o SIDAC.

Quanto ao tipo de secagem, 26% dos dados reportam o uso de secagem natural, 26% artificial, 18% ambos e 29% não informaram (Figura 12). Quanto ao tipo de fornos, descritos nas referências que puderam ser aproveitadas, 30% utilizam apenas forno contínuo, 26% utilizam forno intermitente, 11% forno semi-contínuo, 8% utilizam forno contínuo e semi-contínuo (fábricas com mais de um forno), 29% utilizam forno contínuo e 26% não informaram o tipo de forno (Figura 13). Observa-se que há uma participação menor de fornos intermitentes em relação ao que seria esperado em âmbito nacional: estima-se que 55% dos fornos nacionais sejam intermitentes (MCTI; INT, 2015).

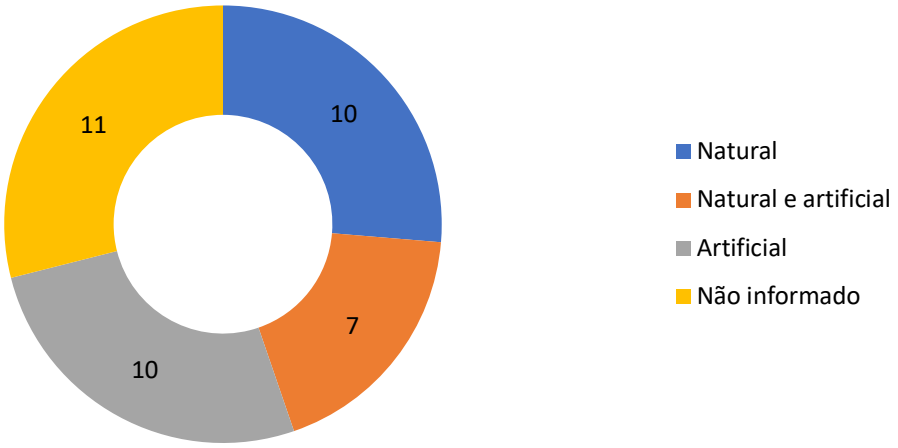


Figura 12 – Tipos de secagem entre os dados aproveitados para o SIDAC.

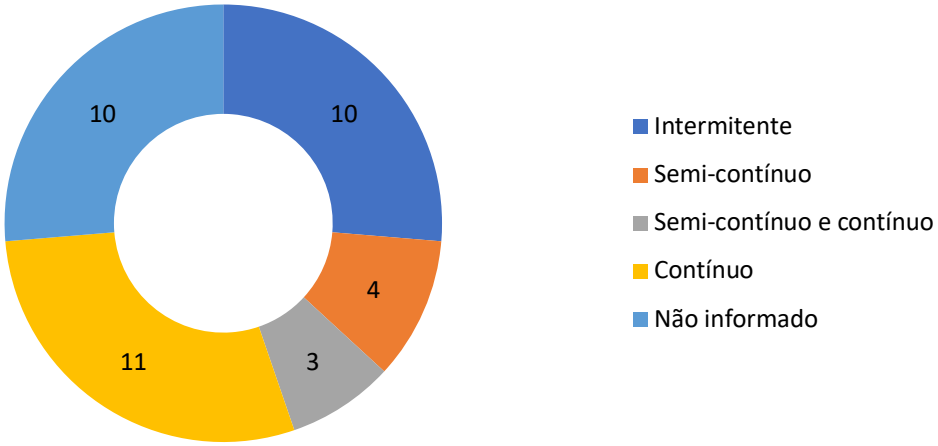


Figura 13 – Tipos de forno entre os dados aproveitados para o SIDAC.

Com relação aos combustíveis, 29% utilizam apenas lenha, 39% utilizam resíduos de biomassa e 16% utilizam ambos. Entre os resíduos de biomassa citados, os mais comuns são cavaco e serragem, mas também há resíduos de pallets, retalhos de móveis, sacaria de juta, sabugo de milho e bagaço de cana. Há dois dados que também reportam o consumo de gás natural, mas em proporção muito inferior ao consumo de resíduos de biomassa, e um dado que considera apenas gás natural. Três dados não identificam o combustível utilizado no forno, informando apenas o consumo total de energia térmica (Figura 14). O consumo de diesel se refere às operações de transporte interno e ao uso de outros equipamentos (por exemplo, geradores), não sendo utilizado para a produção de energia térmica para secadores e fornos.

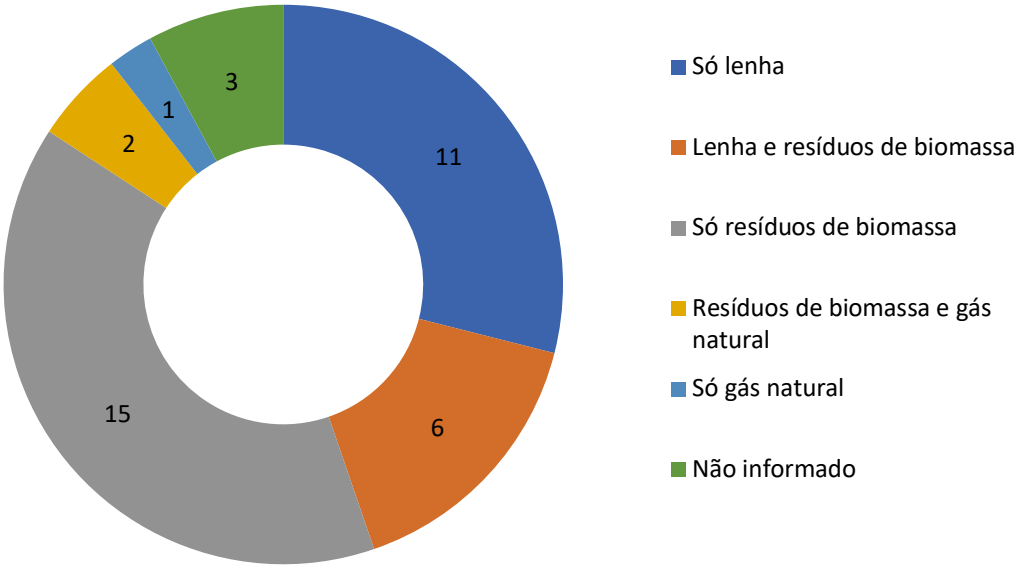


Figura 14 – Tipos de combustível utilizados no forno entre os dados aproveitados para o SIDAC.

3.2 Métodos de cálculo

A seguir, são apresentadas as considerações de cálculo para cada um dos fluxos que compõem os processos elementares de extração de argila e de produção de blocos e telhas inseridos no SIDAC. De um modo geral, calculou-se a quantidade de fluxo por kg de produto cerâmico (média e desvio padrão) e, então, multiplicou-se essa quantidade pela massa unitária de cada tipo de produto (com a propagação de incertezas correspondente), para transformar os fluxos em kg por unidade de produto. Para alguns fluxos, fez-se a distinção entre blocos e telhas, quando foi considerado pertinente, ou seja, quando se notou uma diferença relevante entre blocos e telhas a partir dos dados coletados. Quando essa diferença não era notável, considerou-se como sendo uma única amostra de dados de "produtos cerâmicos", válida tanto para blocos quanto para telhas.

3.2.1 Extração de argila

Obtiveram-se poucas informações sobre o processo elementar de extração de argila. O único item consumível considerado para esse processo foi o diesel utilizado no maquinário de extração. Segundo o estudo "Perfil da Argila" feito para o Ministério de Minas e Energia (J MENDO CONSULTORIA, 2010), o consumo de diesel varia entre 0,4 e 0,8 L/t. Os dados dos estudos da Quantis para a Anicer (QUANTIS CANADA, 2011, 2012) apontam para um consumo de 3,3 L/t. Uma coleta de dados primários feita pelo IPT em uma jazida de areia e argila revelou um consumo de 2,1 L/t. Também foi feita a desagregação de dados de consumo de duas referências: (GRIGOLETTI, 2001) (consumo entre 0,2 e 0,5 L/t) e (CARVALHO, 2019) (consumo entre 1,3 e 1,8 L/t). Calcularam-se a média e o desvio padrão amostral para esse conjunto de dados. Não foi considerada a perda de argila ocorrida na extração, tão pouco o estéril gerado nesse processo (retirada da capa de vegetação com matéria orgânica para acesso à argila com interesse comercial).

3.2.2 Consumo de argila

Obtiveram-se 13 dados sobre o consumo de argila (considerando blocos, tijolos e telhas), dos quais 10 foram considerados válidos, conforme Tabela 1. Os três dados descartados referem-se a um consumo inferior a 1,0 kg de argila por kg de produto cerâmico, o que seria fisicamente impossível.

Tabela 1 – Dados sobre consumo de argila por kg de produto cerâmico.

Referência	Produto	Consumo de argila (kg/kg)
(CARVALHO, 2019) – Fábrica A	Bloco	1,26
(CARVALHO, 2019) – Fábrica B	Bloco	1,10
(CARVALHO, 2019) – Fábrica C	Bloco	1,26
(VINHAL, 2016) – mínimo	Bloco	1,01
(VINHAL, 2016) – máximo	Bloco	1,10
(SOARES; PEREIRA, 2004) – Fábrica C	Bloco	1,39
(SOARES; PEREIRA, 2004) – Fábrica D	Bloco	1,33
(QUANTIS CANADA, 2011)	Telha	1,13
(MILANEZ, 2018)	Bloco	1,20
(ABRAHAO; CARVALHO, 2018)	Cerâmica vermelha	1,35

Além disso, adotou-se para o balizamento da modelagem do consumo de argila o relatório "Manual de fornos eficientes para a indústria de cerâmica vermelha" (MCTI; INT, 2015), o qual

informa índices de perda esperados em função do tipo de forno (Tabela 2). Com base nesses valores, o valor mais provável de perda seria de aproximadamente 3%.

Tabela 2 – Índices de perda de material em função do tipo de forno (MCTI; INT, 2015).

Tipo de forno	Índice de perda	Representatividade
Paulistinha	5% a 8%	15%
Abóbada	2% a 5%	40%
Hoffmann	2%	15% a 20%
Vagão metálico	1%	não informado
Forno metálico móvel	1%	5%
Cedan	2%	não informado
Túnel	1%	não informado

Sendo assim, o consumo de argila foi aproximado por uma distribuição triangular, com mínimo de 1,01 kg/kg, valor mais provável de 1,03 kg/kg e máximo de 1,39 kg/kg (valores mínimos e máximos com base na amostra dos dados considerados válidos), sem distinção entre blocos e telhas.

3.2.3 Consumo de água

Embora o consumo de água não faça parte do escopo mínimo de informações da 1ª versão do SIDAC, optou-se por informá-lo, pois algumas referências dispunham desta informação (Tabela 3). Observa-se que a quantidade de água informada se refere especificamente à água que entra na composição da massa para produção dos blocos e telhas e, portanto, não inclui a água de limpeza da fábrica, supressão de poeira, etc. Consideraram-se a média e o desvio padrão da amostra.

Tabela 3 – Dados sobre consumo de água por kg de produto cerâmico.

Referência	Produto	Consumo de água (L/kg)
(CARVALHO, 2019) – Fábrica A	Bloco	0,05
(CARVALHO, 2019) – Fábrica B	Bloco	0,22
(CARVALHO, 2019) – Fábrica C	Bloco	0,13
(VINHAL, 2016) – mínimo	Bloco	0,17
(VINHAL, 2016) – máximo	Bloco	0,18
(QUANTIS CANADA, 2012)	Bloco	0,16
(BARBOSA *et al.*, 2012)	Bloco	0,30
(BUENO, 2014)	Bloco	0,15
	Média amostral	0,17
	Desvio padrão amostral	0,07

3.2.4 Consumo de eletricidade

O consumo de energia elétrica é um item frequentemente reportado nos estudos, visto que 35 dos 38 dados aproveitados informaram esse valor. Um dado foi descartado, por ser considerado excessivamente alto (0,88 kWh/kg de produto, o que equivale a 3,2 MJ/kg, o que seria da ordem de grandeza do consumo de energia térmica para fabricação de cimento). O terceiro valor mais alto encontrado é de 0,20 kWh/kg, que equivale ao consumo máximo de energia elétrica para a produção de produtos cerâmicos baseado em um levantamento da Empresa de Pesquisas Energéticas e do Ministério de Minas e Energia (MME *et al.*, 2018) – este valor foi considerado como o "máximo maximorum" para o fluxo de consumo de energia elétrica. A mesma publicação também informa um valor mínimo de 0,013 kWh/kg; entretanto, há diversos valores da amostra de dados que estão abaixo deste valor, motivo pelo qual ele

não foi considerado o valor “mínimo minimorum”. As fontes consideradas no consumo de eletricidade são: (ABRAHAO; CARVALHO, 2018; BARBOSA *et al.*, 2012; CARVALHO, 2019; MANFREDINI; SATTLER, 2005; MILANEZ, 2018; MME *et al.*, 2018; SOARES; PEREIRA, 2004; TAVARES; BRAGANÇA, 2016; VINHAL, 2016).

A Figura 15 apresenta uma análise gráfica dos dados por tipo de produto, bem como de todos os dados agrupados. Observa-se que o único valor disponível para telhas, assim como o valor que considera blocos e telhas, estão dentro da faixa de variação esperada para o consumo de energia elétrica dos blocos. As faixas de consumo de energia elétrica para tijolos maciços e para blocos e tijolos maciços apontam para consumos ligeiramente inferiores à faixa dos blocos; entretanto, a quantidade de dados é muito pequena (três no caso dos tijolos maciços e seis no caso de blocos e tijolos maciços) para afirmar que se trata de uma tendência. Sendo assim, considerou-se todo o conjunto de dados como um conjunto único, sem distinção do consumo de energia elétrica entre blocos, tijolos maciços e telhas.

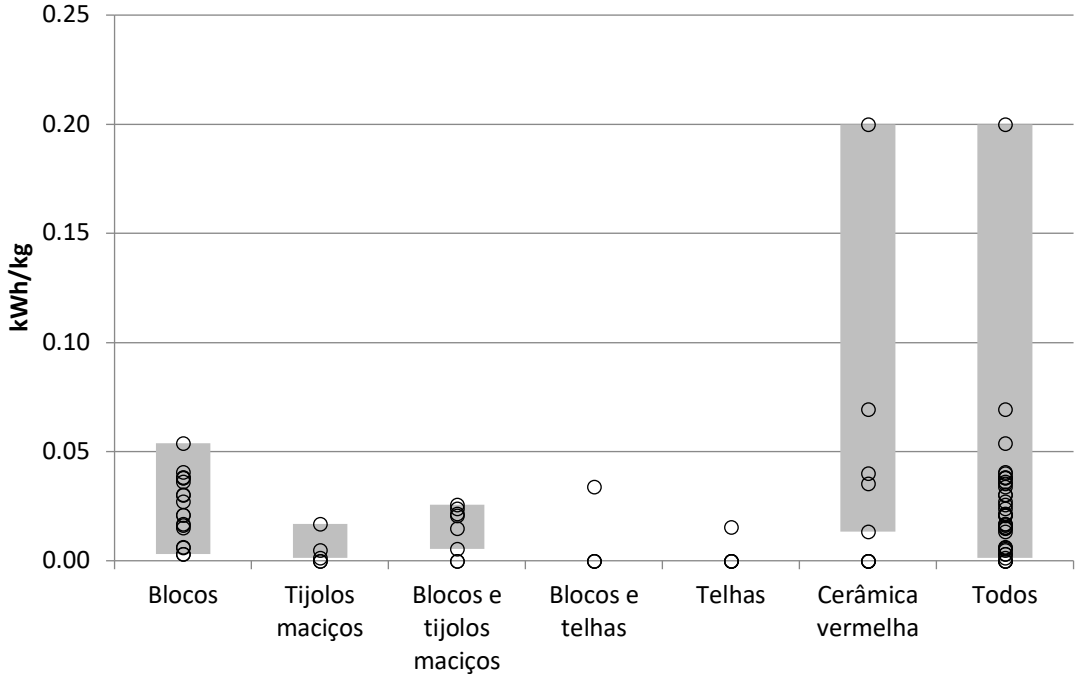


Figura 15 – Consumo de energia elétrica por kg de produto, apresentado por tipo de produto. As barras representam o intervalo entre os valores mínimo e máximo e os pontos representam os valores individuais de cada dado que compõe a amostra. No caso dos dados de “blocos e telhas” e “telhas”, não há um intervalo, pois há apenas um valor para cada. Ignorar os valores iguais a zero.

Sendo assim, o consumo de energia elétrica foi modelado aproximando-o de uma distribuição triangular, com mínimo de 0,0014 kWh/kg (mínimo amostral), máximo de 0,20 kWh/kg (MME *et al.*, 2018) e valor mais provável igual à mediana amostral de 0,021 kWh/kg.

3.2.5 Consumo de combustível dos fornos e secadores

Os dados brutos sobre o consumo de combustíveis dos fornos foram informados em diferentes formatos: alguns são informados em função de unidades de energia (por exemplo, kWh/mês ou MJ/kg), enquanto outros são informados na unidade física do combustível (m^3/mês, t/mês, m^3/kg, t/kg). Para converter os dados de consumo informados em unidades de energia para as unidades declaradas da lenha e dos resíduos de madeira disponíveis no SIDAC e utilizados para modelagem dos processos, adotaram-se os fatores apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Fatores de conversão adotados para cálculo do consumo de combustíveis.

Combustível	Densidade	Poder calorífico
Lenha	390 kg/st	5062 MJ/st
Resíduo de madeira	-	13 MJ/kg
Gás natural	0,74 kg/m³	36,8 MJ/m³
Bagaço de cana	130 kg/m³	8,9 MJ/kg

O consumo de gás natural foi desconsiderado porque, entre os três dados que informaram o consumo desse combustível, dois reportam que o gás natural corresponde a menos de 0,1% do consumo de energia térmica (QUANTIS CANADA, 2011, 2012) e um informa um consumo muito baixo de energia térmica, de 0,01 MJ/kg (BUENO, 2014), tendo sido descartado. O consumo de bagaço de cana também foi desconsiderado porque apenas uma referência (BARBOSA *et al.*, 2012) reporta o consumo desse combustível e, portanto, entende-se que se trata de uma exceção. Desse modo, permaneceram como combustíveis possíveis apenas a lenha e os resíduos de madeira (serragem, cavaco, entre outros).

Entre os valores remanescentes (33 no total), primeiramente fez-se uma análise do consumo total de energia térmica por tipo de produto (Figura 16). Observa-se que há uma grande dispersão dos dados para cada tipo de produto. No caso dos blocos, a faixa de valores varia entre 0,83 e 7,21 MJ/kg, com um valor médio de 3,22 MJ/kg e mediana de 2,63 MJ/kg. Os valores dos tijolos maciços e de blocos e tijolos maciços se encontram dentro da faixa esperada para os blocos. Entretanto, no caso das telhas, observa-se uma tendência de que haja valores superiores de consumo de energia térmica, pois a faixa obtida varia entre 7,51 e 9,49 MJ/kg.

Embora a amostra obtida não seja suficientemente grande para afirmar que a diferença entre blocos e telhas é significativa, há outras referências que reportam um consumo maior de energia para a produção de telhas do que de bloco. A base de dados ecoinvent, por exemplo, considera que o processo de produção das telhas consome 1,5x mais combustível do que de blocos (KELLENBERGER *et al.*, 2007). (BERNI, 2010) informa que a temperatura de queima de telhas (900 a 950°C) é superior à de blocos (750 a 900°C).

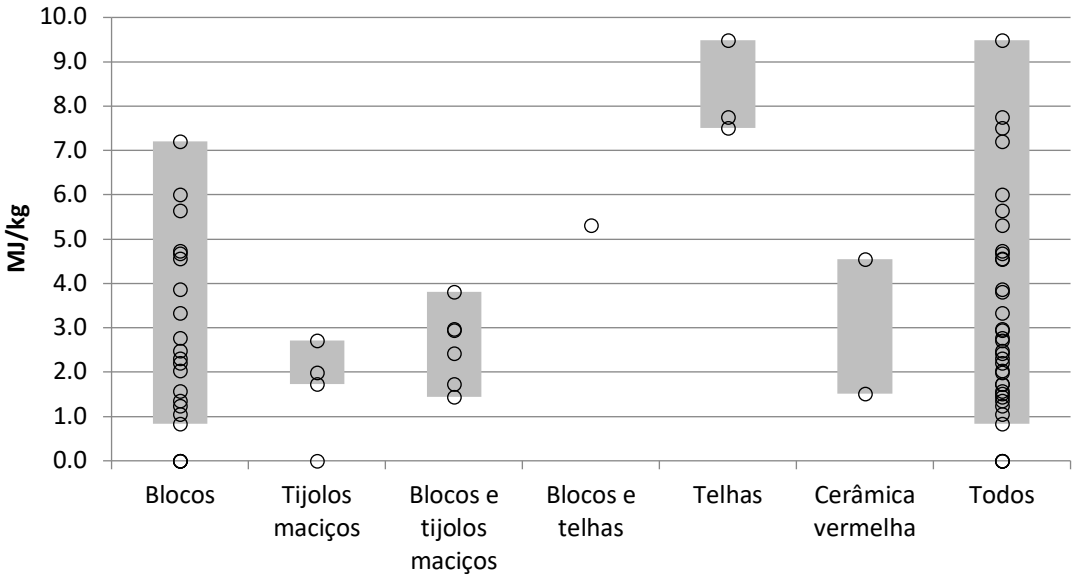


Figura 16 - Consumo de energia térmica (secadores e fornos) por kg de produto, apresentado por tipo de produto. As barras representam o intervalo entre os valores mínimo e máximo e os pontos representam os valores individuais de cada dado que compõe a amostra. Ignorar os valores iguais a zero.

Os valores de consumo energético obtidos foram comparados a faixas de valores disponíveis na literatura (Figura 17). Os dados de blocos, tijolos maciços e blocos e tijolos maciços foram agrupados (1ª coluna), assim como os dados de blocos e telhas e apenas de telhas (2ª coluna). Observa-se que a faixa obtida para os blocos está consistente com as faixas de literatura, embora haja alguns valores que são maiores do que os máximos de literatura. No caso das telhas, os valores de consumo energético estão bem acima das faixas de literatura; entretanto, por serem dados considerados confiáveis, eles não foram descartados, apesar desta discrepância.

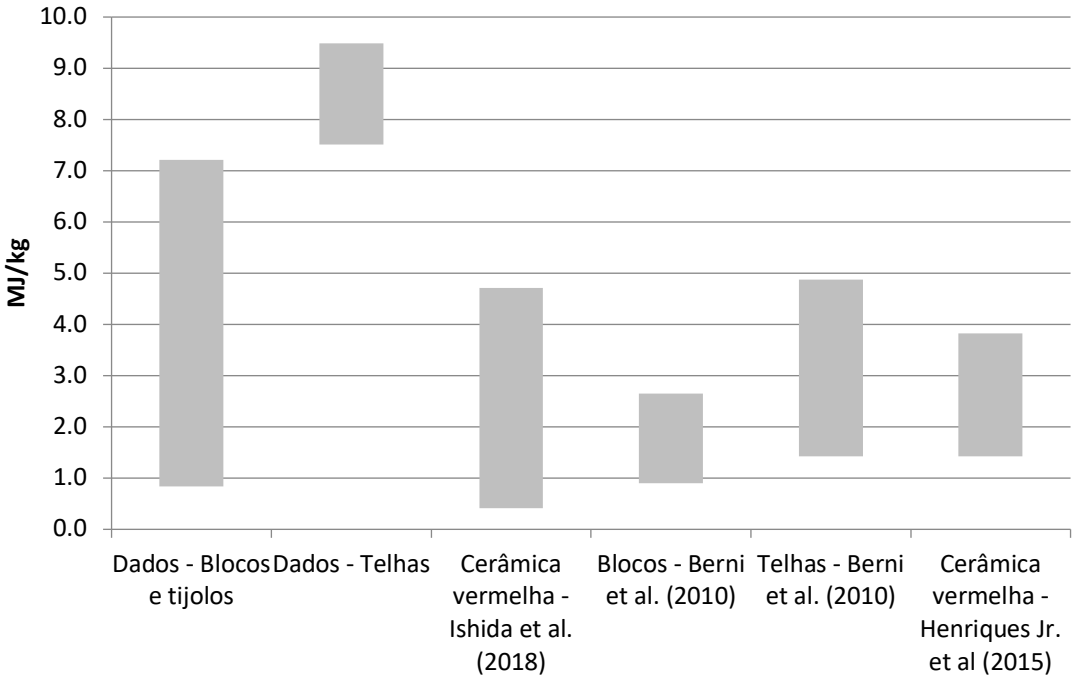


Figura 17 – Comparação entre as faixas de consumo de energia térmica obtidas a partir dos dados coletados e dados de literatura (BERNI, 2010; MCTI; INT, 2015; MME *et al.*, 2018).

Para modelar o consumo dos combustíveis (lenha e resíduos de madeira), considerou-se que, 50% da energia térmica provêm de cada um desses combustíveis. Os dados da amostra apontam para outra proporção – 28% da energia térmica proveniente de lenha e 72% de serragem. Entretanto, a amostra obtida não é estatisticamente representativa e, além disso, alguns dos dados que reportam o consumo tanto de lenha quanto de serragem não apresentaram o consumo energético de forma desagregada.

Sendo assim, o consumo de combustível foi calculado a partir da proporção da energia térmica supracitada, dividida pelo poder calorífico de cada combustível (Tabela 4). O cálculo foi feito separadamente para a amostra de dados de blocos e tijolos (27 dados no total, de (CARVALHO, 2019; MANFREDINI; SATTLER, 2005; MILANEZ, 2018; SOARES; PEREIRA, 2004; VINHAL, 2016)) e para telhas (quatro dados no total, sendo que em um caso, a fábrica também produz blocos, de (MANFREDINI; SATTLER, 2005; QUANTIS CANADA, 2011; VON MÜHLEN; TAVARES, 2021)). Adotaram-se a média e o desvio padrão calculados a partir das amostras.

3.2.6 Origem da lenha

No caso da lenha, também é necessário informar se ela é proveniente de fonte renovável (floresta plantada ou floresta nativa que recompõe o estoque de carbono) ou não renovável (floresta nativa que não recompõe o estoque de carbono e desmatamento). As referências

consultadas para estimar o consumo de combustível não têm informações sobre a origem da lenha consumida no processo. Entre os 17 dados (por kg de produto) que reportam o consumo de lenha, 13 não informam a origem, dois informam usar lenha de madeira nativa (ABRAHAO; CARVALHO, 2018; CARVALHO, 2019) e dois informam o uso de lenha de reflorestamento de eucalipto (CARVALHO, 2019).

Com relação ao consumo de madeira para energia no Brasil, ESCOBAR (2017) ressalta que 32% do consumo é referente ao setor industrial, principalmente para produção de calor em indústrias de cerâmica, celulose e alimentos. Entretanto, segundo o autor, 59% da madeira destinada para uso energético no país ainda é proveniente de florestas nativas, contribuindo para o desmatamento. Observa-se, porém, que o fato de se utilizar lenha de árvores nativas não significa, necessariamente, que a lenha seja proveniente de desmatamento (MCTIC; INT, 2016). (CARVALHO, 2019), por exemplo, reporta o uso de resíduos de poda de mangueiras, videiras e algarobeiras (árvores nativas), o que permite recuperar a energia contida no resíduo, ao invés de direcioná-lo a um aterro. Entretanto, em outros casos, há registros de aumento do desmatamento de vegetação nativa em regiões próximas a olarias.

Ou seja, sabe-se que a quantidade de lenha não renovável utilizada na fabricação de produtos de cerâmica vermelha no Brasil não é igual a zero. Entretanto, não há uma estimativa consolidada da porcentagem da lenha não renovável utilizada pelo setor cerâmico. Sendo assim, realizou-se uma estimativa considerando as seguintes informações:

- Produção de lenha de florestas plantadas (silvicultura) e de florestas nativas de manejo, conforme dados da pesquisa "Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura" (PEVS) conduzida pelo IBGE junto aos municípios brasileiros, para o ano de 2020 (IBGE, 2020). Essa lenha foi considerada como sendo lenha renovável, mesmo não sendo possível assegurar que a lenha de florestas nativas seja de florestas cujo manejo garanta a recomposição da biomassa florestal;
- Consumo final de lenha no Brasil, conforme dados do Balanço Energético Nacional 2021, ano base 2020 (EPE, 2021);
- A diferença entre a lenha consumida (conforme o BEN) e a lenha produzida (conforme a PEVS) foi considerada como lenha de origem ilegal, visto que não foi reportada ao IBGE e, portanto, não renovável.

A Tabela 5 apresenta esses cálculos.

Tabela 5 – Estimativa da porcentagem da lenha que é não renovável.

	Unid.	Qtde.	Observação
PEVS 2020			
Lenha – nativa	m^3	19.321.494	Quantidade produzida na extração vegetal, item 7.2
Lenha – silvicultura	m^3	50.676.045	Quantidade produzida na silvicultura, item 1.2
Lenha – total	m^3	69.997.539	
BEN 2020			
Consumo de lenha	10^3 t	57.171	BEN 2021, Tabela 2.9 (consumo final)
	m^3	146.592.225	Densidade lenha comercial: 390 kg/m^3
Diferença			
BEN - PEVS	m^3	76.594.686	
(BEN - PEVS)/BEN	%	52%	Porcentagem da lenha considerada não renovável

Sendo assim, como 50% do consumo de energia nos fornos e secadores corresponde à lenha e 52% da lenha é considerada não renovável, 26% da energia térmica do processo de produção de blocos e telhas é proveniente de lenha não renovável, cuja combustão gera a emissão de CO_2 fóssil.

3.2.7 Consumo de diesel

O consumo de diesel foi informado por 35 dados; entretanto, em alguns casos, ele não se restringe ao processo de fabricação de blocos e telhas, mas inclui também os processos de extração da argila e o transporte da argila e do combustível até a fábrica, como mostra a Figura 18.

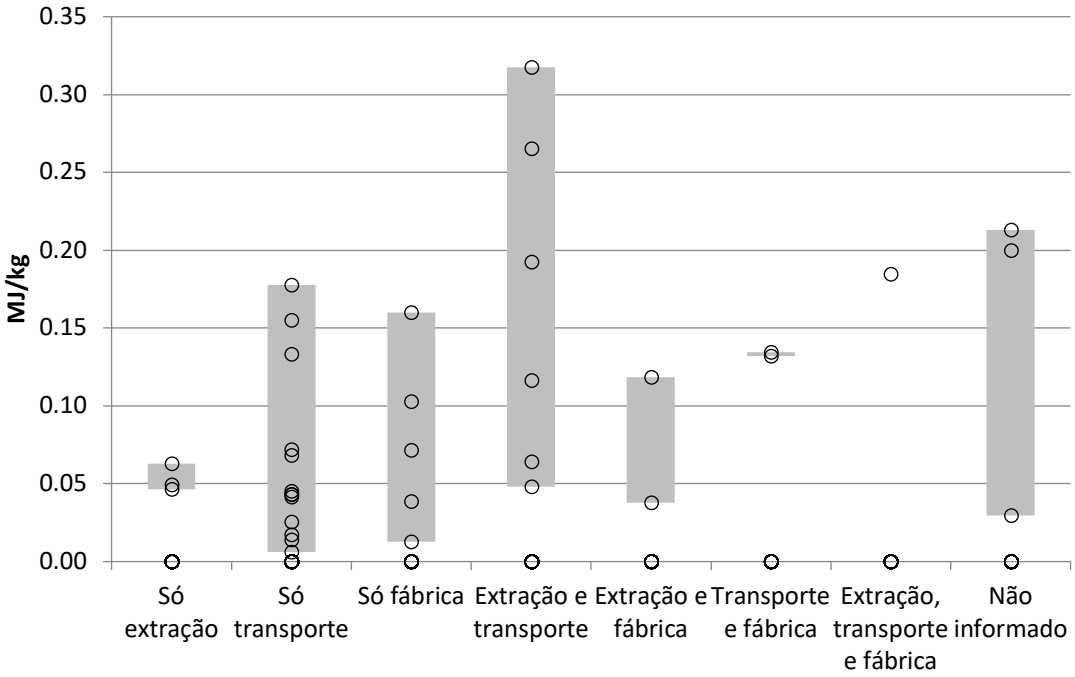


Figura 18 – Consumo de diesel (expresso em MJ/kg de produto cerâmico) e respectivas etapas do ciclo de vida consideradas. Ignorar valores iguais a zero.

Como a extração de argila é um processo unitário separado e seu transporte até a fábrica é declarado em função da distância de transporte, optou-se por considerar apenas os dados que se referem especificamente ao consumo de diesel na fabricação (cinco dados no total, de (BUENO, 2014; VINHAL, 2016; VON MÜHLEN; TAVARES, 2021)). Calcularam-se a média e o desvio padrão amostral.

3.2.8 Transporte da argila

Foram obtidos 12 dados sobre a distância de transporte da argila até a fábrica de produtos cerâmicos, tendo sido aproveitados 11 dados (o conjunto descartado reporta uma distância de 2.250 km para uma olaria localizada no Paraná, o que não é justificável do ponto de vista financeiro, pois o custo de transporte se tornaria inviável). Os dados aproveitados são provenientes de (ABRAHAO; CARVALHO, 2018; CARVALHO, 2019; GRIGOLETTI, 2001; MILANEZ, 2018; QUANTIS CANADA, 2011, 2012).

O valor mínimo da distância de transporte é de 0 km, pois em muitos casos, a jazida de argila e a fábrica se encontram no mesmo terreno, não havendo transporte rodoviário de carga, apenas o transporte de argila interno do local de extração até o estoque (contabilizado no consumo de diesel). O valor máximo encontrado (considerado razoável) é de 250 km

(MANFREDINI; SATTLER, 2005). Entretanto, o mais comum é que as jazidas sejam o mais próximo possível das fábricas, para minimizar o custo do frete. O valor médio encontrado para a distância de transporte foi de 40 km, enquanto o valor mediano foi de 6 km.

Sendo assim, a estimativa dos parâmetros que descrevem a distância de transporte da argila considerou uma distribuição de probabilidade triangular, considerando o valor mínimo de 0 km, o valor máximo de 250 km e o valor mais provável de 6 km. Como se considera que o caminhão retorna vazio à jazida, as distâncias foram multiplicadas por 2, o que resulta em uma distância média de 171 km com desvio padrão de 116 km (considerando a distribuição triangular). O veículo considerado foi um caminhão truck de 3 eixos.

3.2.9 Transporte do combustível

Obtiveram-se 6 dados sobre a distância de transporte dos combustíveis (CARVALHO, 2019; MILANEZ, 2018; VINHAL, 2016), que variou entre 60 e 243 km, com média de 168 km e mediana de 185 km. Entretanto, trata-se de uma amostra muito reduzida de informações. Sendo assim, optou-se por modelar a distância de transporte dos combustíveis como uma distribuição uniforme, com mínimo de 30 km (metade do valor mínimo amostral obtido) e máximo de 300 km (um pouco acima do valor amostral obtido). Considerou-se que o caminhão retorna vazio; desse modo, a distância média é de 330 km com desvio padrão de 156 km. Os veículos considerados foram um caminhão bitrem 7 eixos no caso da lenha e um caminhão carreta de 5 eixos no caso dos resíduos de madeira.

O fato desse fluxo não ter uma modelagem tão precisa não é um problema, pois a contribuição dos transportes nos indicadores de desempenho ambiental é muito baixa, visto que o principal consumo energético se dá no forno.

3.2.10 Resíduo

A quantidade de resíduo gerada no processo equivale à diferença entre o consumo de argila (item 3.2.1) e a quantidade de produto, ou seja, é equivalente às perdas. Esses resíduos referem-se ao material que foi queimado e que não é comercializado como “produto de 2ª linha”. Ainda que alguns fabricantes aproveitem esses resíduos para forrar vias internas e/ou externas à fábrica ou o comercializem para essa finalidade, considerou-se aqui que esse resíduo é disposto em um aterro de inertes.

3.2.11 Massa dos produtos

A massa de cada um dos produtos cerâmicos cadastrados no SIDAC foi informada pela ANICER, conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Massa média dos produtos cerâmicos.

Produto	massa (kg/unid)	C.V. (%)
Blocos		
(11,5 x 14 x 24) cm	2,3	8%
VED15 (09 x 19 x 19) cm	2,1	8%
VED15 (14 x 19 x 29) cm	4,1	14%
EST40 (11,5 x 19 x 39) cm	6,1	15%
EST40 (14 x 19 x 29) cm	5,0	8%
EST40 (14 x 19 x 39) cm	6,9	11%
EST40 (19 x 19 x 39) cm	8,3	13%
Tijolo maciço	2,5	-
Telhas		
Romana	2,7	3%
Capa	1,1	30%
Capa colonial	1,9	-
Paulistinha	1,8	-
Portuguesa	2,7	3%
Americana	3,3	-
Francesa	2,9	-

Tais valores resultaram da consulta feita pela ANICER a alguns fabricantes associados; entretanto, a amostra obtida foi bastante reduzida (máximo 4 valores por produto), sendo que, para alguns produtos, se obteve apenas um valor. Sendo assim, optou-se por uma postura conservadora, adotando-se o valor de coeficiente de variação de 15% para blocos e 30% para telhas (máximo coeficiente de variação entre cada um dos produtos).

Os valores dos fluxos de inventário (x) calculados por kg de produto cerâmico foram multiplicados pela massa unitária de cada produto (m), para obter os valores dos fluxos de inventário no formado necessário para o SIDAC, como mostra a Equação 1.

$$y = x.m$$ *Equação 1*

- y: valor do fluxo por unidade de produto (unidade do fluxo/unid)
- x: valor do fluxo por unidade de massa (unidade do fluxo/kg)
- m: massa unitária do produto (kg/unid)

A propagação da incerteza se deu conforme a equação

$$\left(\frac{sd_y}{y}\right)^2 = \left(\frac{sd_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{sd_m}{m}\right)^2 = cv_x^2 + cv_m^2$$ *Equação 2*

- sd_y: desvio padrão do fluxo por unidade de produto
- sd_x: desvio padrão do fluxo por unidade de massa
- sd_m: desvio padrão da massa unitária
- cv_x: coeficiente de variação do fluxo por unidade de massa
- cv_m: coeficiente de variação da massa unitária

3.3 Itens desconsiderados

Não foi considerada a quantidade de cinzas gerada no forno, tão pouco sua disposição. Também não foram considerados materiais para embalagem dos blocos, tais como pallets, filmes *stretch* e fitas. Não se considerou o consumo de água para limpeza ou supressão de poeira na fábrica ou mesmo na jazida de argila.

4 Inventários dos processos elementares

As tabelas a seguir apresentam os inventários elaborados.

Tabela 7 – Inventário do processo elementar de extração de 1 kg de argila.

Fluxo	Unid.	Fluxos de inventário	
		Qtde. (média)	Desv. padrão
Entradas			
Argila	kg	1	-
Óleo diesel (combustão)	L	0,0012	0,001
Saída			
Argila processada	kg	1	-

Tabela 8 - Inventário do processo elementar de produção de 1 kg de blocos cerâmicos.

Fluxo	Unid.	Fluxos de inventário		Transporte	
		Qtde. (média)	Desvio padrão	Distância média (km)	Desvio padrão (km)
Entradas					
Argila processada	kg	1,14	0,09	171	116
Água doce	L	0,17	0,07	-	-
Eletricidade	kWh	0,074	0,045	-	-
Óleo diesel (combustão)	L	0,0022	0,0016	-	-
Lenha renovável (combustão)	st	0,00013	0,00006	330	156
Lenha não renovável (combustão)	st	0,00014	0,00007	330	156
Resíduo de madeira (combustão)	kg	0,10	0,05	330	156
Saída					
Bloco cerâmico	kg	1	-	-	-
Resíduo inerte	kg	0,14	0,09	-	-
Vapor d'água	L	0,17	0,07	-	-

Tabela 9 - Inventário do processo elementar de produção de 1 kg de telhas cerâmicas.

Fluxo	Unid.	Fluxos de inventário		Transporte	
		Qtde. (média)	Desvio padrão	Distância média (km)	Desvio padrão (km)
Entradas					
Argila processada	kg	1,14	0,09	171	116
Água doce	L	0,17	0,07	-	-
Eletricidade	kWh	0,074	0,045	-	-
Óleo diesel (combustão)	L	0,0022	0,0016	-	-
Lenha renovável (combustão)	st	0,00034	0,00009	330	156
Lenha não renovável (combustão)	st	0,00036	0,00010	330	156
Resíduo de madeira (combustão)	kg	0,27	0,074	330	156
Saída					
Telha cerâmica	kg	1	-	-	-
Resíduo inerte	kg	0,14	0,09	-	-
Vapor d'água	L	0,17	0,07	-	-

As quantidades informadas na Tabela 8 e na Tabela 9 foram multiplicadas respectivamente pelas massas unitárias de blocos e telhas indicadas na Tabela 6, resultando assim nos inventários inseridos no SIDAC e reproduzidos na Tabela 10 (blocos) e Tabela 11 (telhas). As distâncias de transporte da argila processada e dos combustíveis permanecem conforme a Tabela 8 e a Tabela 9.

Tabela 10 – Inventários dos processos de produção de 1 unidade de blocos cerâmicos.

Fluxo	Unid.	VED 15 - 11,5 x 14 x 24 cm		VED15 - 09 x 19 x 19 cm		VED15 - 14 x 19 x 29 cm		EST40 - 11,5 x 19 x 39 cm	
		Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
Entradas									
Argila processada	kg	2,63	0,075	2,40	0,068	4,65	0,132	6,98	0,20
Água doce	L	0,39	0,079	0,36	0,072	0,69	0,14	1,04	0,21
Eletricidade	kWh	0,17	0,066	0,16	0,060	0,30	0,12	0,45	0,17
Óleo diesel	L	0,0050	0,0029	0,0046	0,0026	0,0088	0,0051	0,013	0,0076
Lenha renovável	st	0,00029	0,000076	0,00027	0,000069	0,00052	0,00013	0,00078	0,00020
Lenha não renovável	st	0,00032	0,00008	0,00029	0,00007	0,00056	0,00014	0,0008	0,00022
Resíduo de madeira	kg	0,24	0,061	0,22	0,056	0,42	0,11	0,63	0,16
Saída									
Resíduo inerte	kg	0,33	0,13	0,30	0,12	0,58	0,23	0,88	0,34
Vapor d'água	L	0,39	0,079	0,36	0,07	0,69	0,14	1,04	0,21
Bloco	unid	1	-	1	-	1	-	1	-
Fluxo	Unid.	EST 40 - 14 x 19 x 29 cm		EST 40 – 14 x 19 x 39 cm		EST 40 – 19 x 19 x 39 cm		Tijolo - 11,5 x 5,3 x 24 cm	
		Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
Entradas									
Argila processada	kg	5,68	0,161	7,87	0,22	9,47	0,27	2,86	0,081
Água doce	L	0,84	0,17	1,17	0,24	1,40	0,28	0,42	0,086
Eletricidade	kWh	0,37	0,14	0,51	0,20	0,61	0,24	0,19	0,071
Óleo diesel	L	0,011	0,0062	0,015	0,0086	0,018	0,010	0,0054	0,0031
Lenha renovável	st	0,00063	0,00016	0,0009	0,00023	0,0011	0,00027	0,00032	0,000082
Lenha não renovável	st	0,00069	0,00018	0,0009	0,00024	0,0011	0,00029	0,00034	0,00009
Resíduo de madeira	kg	0,51	0,13	0,71	0,18	0,86	0,22	0,26	0,067
Saída									
Resíduo inerte	kg	0,71	0,28	0,99	0,39	1,19	0,47	0,36	0,14
Vapor d'água	L	0,84	0,17	1,17	0,24	1,40	0,28	0,42	0,09
Bloco	unid	1	-	1	-	1	-	1	-

Tabela 11 – Inventários dos processos de produção de 1 unidade de telhas cerâmicas.

Fluxo	Unid.	Romana		Capa		Colonial		Paulistinha	
		Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
Entradas									
Argila processada	kg	3,09	0,296	1,26	0,121	2,12	0,203	2,06	0,197
Água doce	L	0,46	0,123	0,19	0,050	0,31	0,085	0,31	0,082
Eletricidade	kWh	0,20	0,091	0,082	0,037	0,14	0,062	0,13	0,060
Óleo diesel	L	0,0059	0,0038	0,0024	0,0015	0,0040	0,0026	0,00	0,003
Lenha renovável	st	0,00091	0,000149	0,00037	0,000061	0,00062	0,000102	0,00	0,000
Lenha não renovável	st	0,0010	0,000161	0,00040	0,000066	0,00067	0,000111	0,00	0,000
Resíduo de madeira	kg	0,74	0,121	0,30	0,049	0,50	0,083	0,49	0,081
Saída									
Resíduo inerte	kg	0,39	0,18	0,16	0,073	0,27	0,122	0,26	0,119
Vapor d'água	L	0,46	0,12	0,19	0,050	0,31	0,085	0,31	0,082
Bloco	unid	1	-	1	-	1	-	1	-

Fluxo	Unid.	Portuguesa		Americana		Francesa	
		Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
Entradas							
Argila processada	kg	3,09	0,296	3,77	0,362	3,32	0,318
Água doce	L	0,46	0,123	0,56	0,15	0,49	0,133
Eletricidade	kWh	0,20	0,091	0,25	0,111	0,22	0,097
Óleo diesel	L	0,0059	0,0038	0,0072	0,0046	0,0063	0,0041
Lenha renovável	st	0,00091	0,000149	0,00111	0,000182	0,00097	0,000160
Lenha não renovável	st	0,0010	0,000161	0,0012	0,000197	0,0011	0,000173
Resíduo de madeira	kg	0,74	0,121	0,90	0,148	0,79	0,130
Saída							
Resíduo inerte	kg	0,39	0,178	0,47	0,218	0,42	0,19
Vapor d'água	L	0,46	0,123	0,56	0,151	0,49	0,13
Bloco	unid	1	-	1	-	1	-

5 Análise dos indicadores

Os indicadores obtidos no SIDAC foram comparados aos valores dos indicadores encontrados na literatura. Observa-se que poucas referências nacionais apresentam indicadores de emissão de CO_2 e demanda de energia primária, do berço ao portão, visto que o uso da Avaliação do Ciclo de Vida ainda é incipiente no Brasil.

A Figura 19 apresenta a análise do indicador de emissão de CO_2 para os blocos cerâmicos.

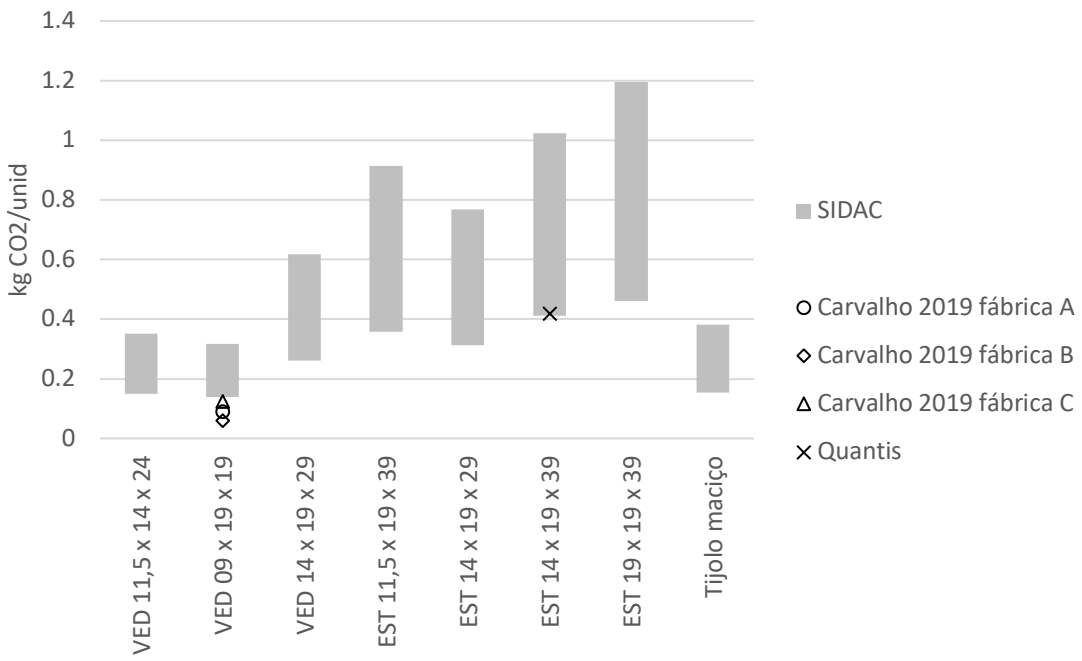


Figura 19 – Faixas de valores para o indicador de emissão de CO_2 do SIDAC para blocos e tijolos e comparação com valores de literatura.

Observa-se que ambos os trabalhos (Carvalho e Quantis) reportam o indicador potencial de aquecimento global (expresso em kg CO_2 equivalente), e não a emissão de CO_2 especificamente; entretanto, como no sistema de produto analisado não há emissões significativas de outros gases de efeito estufa, os resultados podem ser comparados. No caso da Quantis (estudo de ACV feito para a ANICER), o indicador considera todo o ciclo de vida do produto e é originalmente expresso por m² de parede; sendo assim, considerou-se apenas a fronteira do sistema do berço ao portão (utilizando os valores desagregados disponíveis no relatório do estudo) e considerou-se o consumo de 13 blocos/m² (também de acordo com o relatório) para convertê-lo em kg CO_2 eq./unidade de bloco.

Os indicadores obtidos por Carvalho (2019) estão abaixo da faixa de valores obtida para o mesmo tipo de bloco no SIDAC, enquanto o indicador informado pela Quantis está no limite inferior da faixa de emissão de CO_2 do SIDAC. Isso ocorre, sobretudo, porque ambas as referências consideram apenas o uso de biomassa renovável como combustível para os secadores e fornos e, desse modo, as emissões de CO_2 decorrem apenas do consumo de diesel, do transporte e das emissões da energia elétrica. Por outro lado, o SIDAC considera uma proporção de energia não renovável, correspondente à participação da lenha de floresta nativa sem recomposição total da biomassa entre as fontes de energia térmica do processo.

A Figura 20 apresenta a análise do indicador de demanda de energia primária para os blocos cerâmicos.

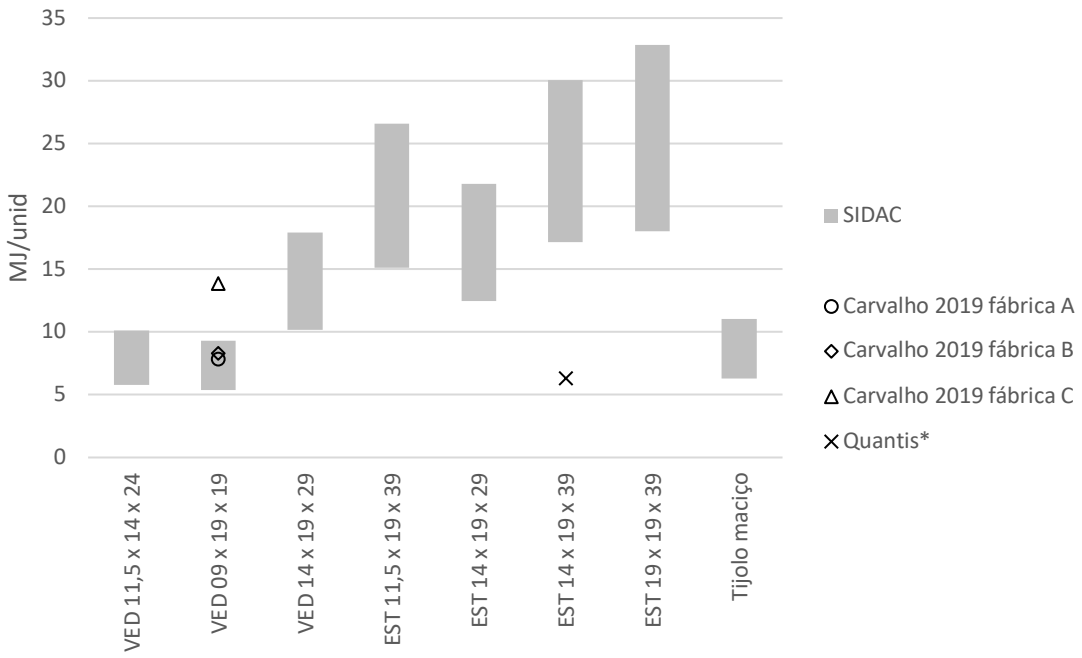


Figura 20 - Faixas de valores para o indicador de demanda de energia primária do SIDAC para blocos e tijolos e comparação com valores de literatura.

Carvalho (2019) utilizou o método *Cumulative Energy Demand* (CED) para o cálculo do indicador (no qual também se baseia o cálculo do SIDAC), enquanto a Quantis utilizou o método "esgotamento de recursos" do método de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida IMPACT 2002+, o qual, apesar de também ser expresso em MJ, considera apenas o consumo de recursos não renováveis, ou seja, combustíveis fósseis[2]. Adotou-se a mesma lógica do indicador de potencial de aquecimento global para calcular o indicador de energia da Quantis em MJ/unidade de bloco, do berço ao portão.

Observa-se que dois dos três dados de Carvalho (2019) se encontram dentro da faixa de valores do indicador de demanda de energia primária do SIDAC. O indicador informado pela Quantis (6,3 MJ/unid) está bem abaixo do limite inferior calculado pelo SIDAC para o mesmo tipo de bloco, o que se deve ao fato do indicador da Quantis só considerar o uso de energia não renovável, sendo que grande parte da energia consumida na produção de blocos cerâmicos é renovável. Considera-se importante explicar essas diferenças, visto que o estudo de ACV da Quantis foi feito para a ANICER e amplamente divulgado em âmbito nacional.

No caso das telhas, há apenas o dado da Quantis expresso por unidade (para uma telha com massa unitária de 2,40 kg/peça). A Figura 21 apresenta a análise do indicador de emissão de CO_2 e a Figura 22, do indicador de demanda de energia primária.

[2] O método também contabiliza o consumo de minerais utilizados como matéria-prima em unidade de energia, considerando a energia extra que será necessária no futuro para extrair minerais que tendem ao esgotamento. Entretanto, os minerais de construção são considerados abundantes e, por isso, não são contabilizados nesse tipo de indicador.

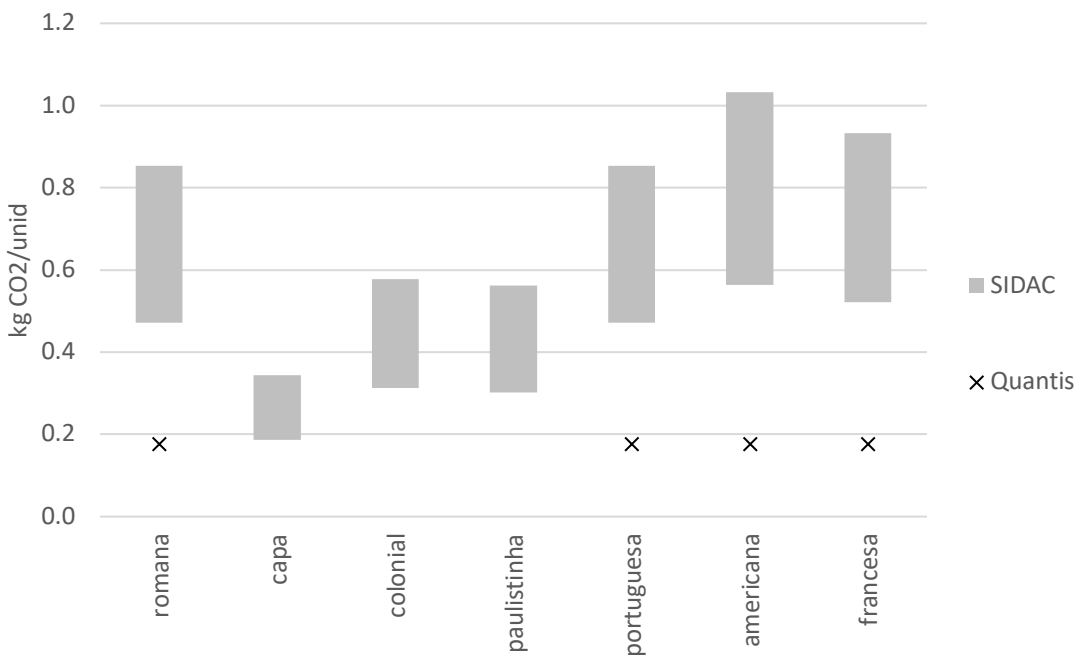


Figura 21 - Faixas de valores para o indicador de emissão de CO_2 do SIDAC para telhas e comparação com valores de literatura.

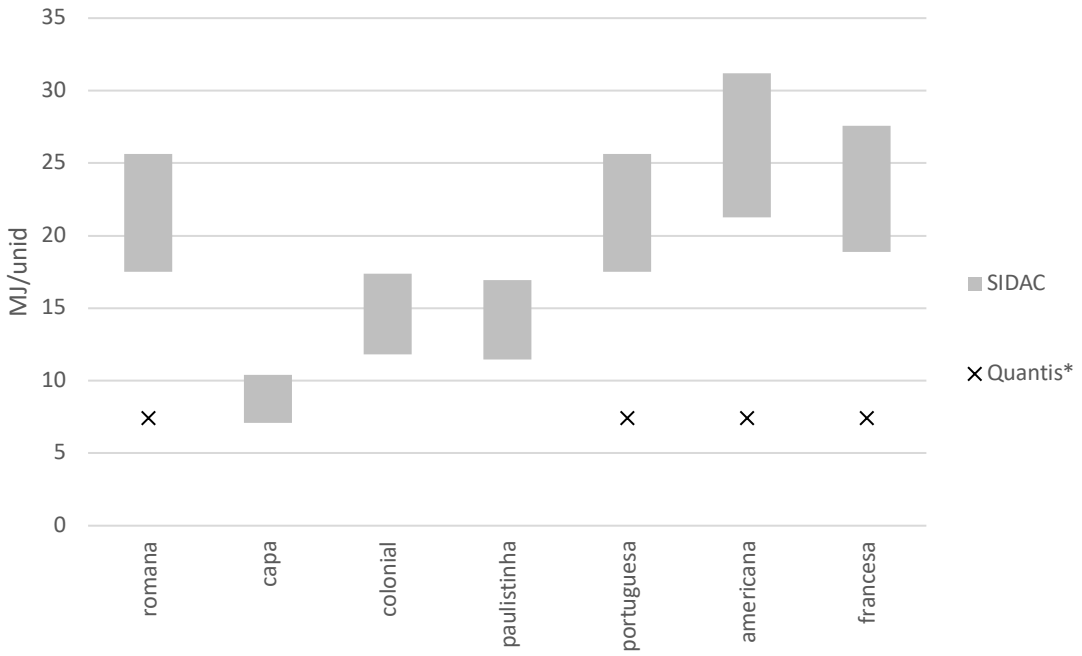


Figura 22 - Faixas de valores para o indicador de demanda de energia primária do SIDAC para telhas e comparação com valores de literatura.

O indicador de potencial de aquecimento global para telhas da Quantis é inferior aos valores calculados pelo SIDAC porque, assim como no caso dos blocos, o estudo da Quantis considerou apenas o consumo de energia renovável para operação dos fornos e secadores. Além disso, a Quantis considera que o consumo de energia para produção de telhas é apenas 25% acima do consumo para produção de blocos (em MJ/kg), enquanto de acordo com os dados compilados para o SIDAC, as telhas possuem um consumo de combustível em média 2,6x maior do que os blocos. Isso também explica parte da diferença observada para os dados de consumo de

energia primária, além do fato do indicador da Quantis contabilizar apenas a parcela não renovável da energia.

Para possibilitar a comparação dos indicadores obtidos com um maior número de referências, calcularam-se os indicadores do SIDAC por kg de telha e de bloco, visto que muitas referências só expressaram seus indicadores desta forma. A Figura 23 apresenta a análise para o indicador de emissão de CO_2 e a Figura 24 para o indicador de demanda de energia primária.

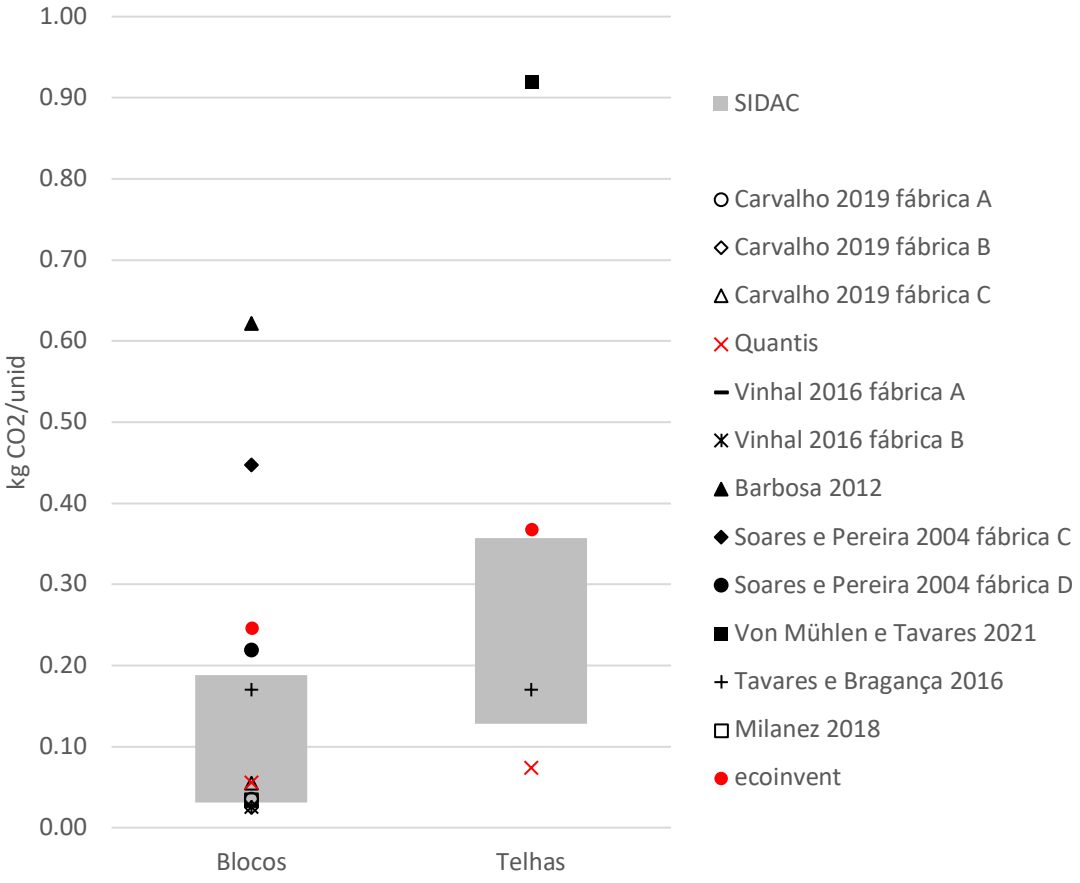


Figura 23 - Faixas de valores para o indicador de emissão de CO_2 do SIDAC (expressas por kg de produto) e comparação com valores de literatura.

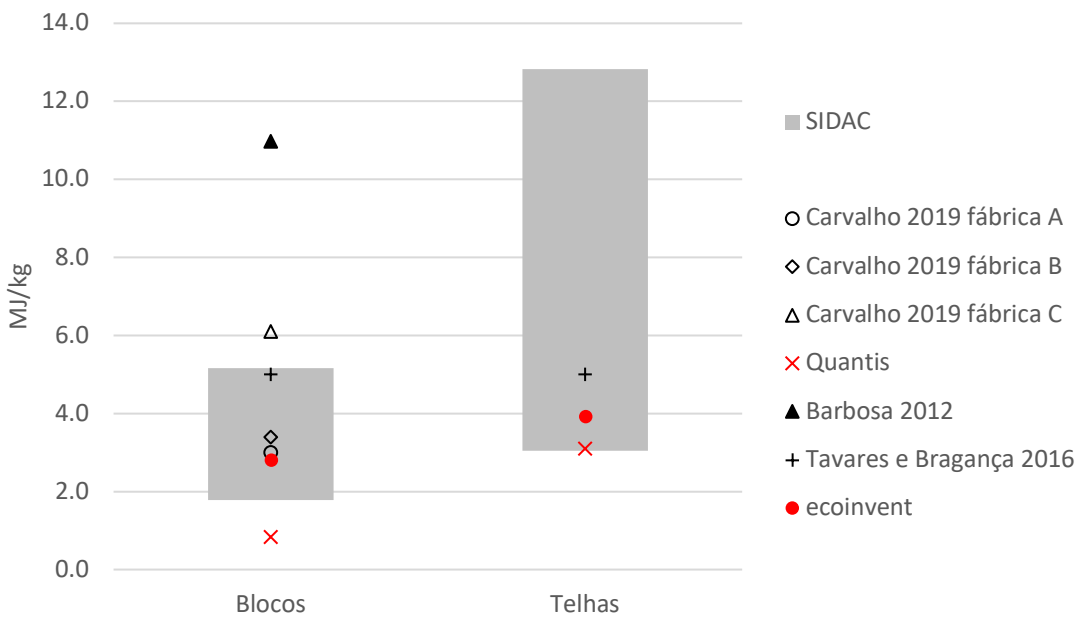


Figura 24 – Faixas de valores para o indicador de demanda de energia primária do SIDAC (expressas por kg de produto) e comparação com valores de literatura.

Observa-se que muitos valores de emissão de CO_2 por quilograma de bloco se encontram próximos do limite inferior da faixa calculada pelo SIDAC, pois muitas referências consideram que a energia utilizada nos fornos é renovável. Por outro lado, há alguns valores de emissão de CO_2 publicados que são superiores ao valor máximo informado pelo SIDAC. No caso das telhas, a disponibilidade de dados é menor e apenas um dado de emissão de CO_2 (Tavares e Bragança, 2016) se encontra dentro da faixa de valores do SIDAC, havendo também um dado inferior (Quantis) e um dado muito acima (Von Mühlen e Tavares, 2021). No caso do indicador de demanda de energia primária, observa-se uma maior aderência entre os dados do SIDAC e os indicadores da literatura, embora no caso das telhas, os valores da literatura estejam mais próximos do limite inferior da faixa calculada pelo SIDAC.

Também foram incluídos na comparação os indicadores calculados pela base de dados internacional ecoinvent, referentes aos produtos "*clay brick*" e "*roof tile*", uma vez que essa base de dados é frequentemente utilizada em estudos de ACV. Para o indicador de emissão de CO_2, o SIDAC aponta para valores menores do que os da ecoinvent, tanto para blocos quanto para telhas, pois a ecoinvent considera que os fornos utilizam gás natural, que é um combustível fóssil. Para o indicador de demanda de energia primária, os valores da ecoinvent se encontram dentro das faixas dos indicadores do SIDAC.

Portanto, de um modo geral, os indicadores obtidos no SIDAC podem ser considerados coerentes, pois se encontram dentro da ordem de grandeza esperada a partir dos dados de literatura. Entretanto, observa-se que, no caso das telhas, os dados atualmente disponíveis apontam para valores máximos de demanda de energia primária e emissão de CO_2 um pouco altos.

6 Considerações finais

O presente trabalho elaborou inventários de ciclo de vida para os principais tipos de blocos e telhas cerâmicos consumidos no Brasil, com base em dados extraídos da literatura nacional, com o objetivo de calcular os indicadores de demanda de energia primária e emissão de CO_2, do berço ao portão, para inserção no SIDAC. Embora tenham sido obtidos poucos dados frente

ao número de indústrias cerâmicas que operam no país, buscou-se fazer o máximo uso possível das informações disponíveis para estimar uma faixa de valores para cada um dos itens que compõem o inventário do processo produtivo desses produtos cerâmicos.

Observa-se que muitas das informações disponíveis na literatura não puderam ser aproveitadas, ou por estarem incompletas, ou por apresentarem valores que não foram considerados pertinentes. Mesmo descartando-se essas informações, o nível de variação obtido para os fluxos de inventário e, consequentemente, para os indicadores de desempenho ambiental dos blocos e telhas cerâmicos foi alto. Isso se deve em parte à alta variabilidade do processo propriamente dita, confirmada por algumas das referências de literatura consultadas (por exemplo, os trabalhos sobre eficiência energética do MME e da EPE). Entretanto, parte dessa variação pode ser atribuída à incerteza dos dados e pode ser reduzida mediante a coleta de informações mais precisas.

Um aspecto importante destes inventários é a origem da lenha utilizada nos fornos. Devido à ausência de informações mais precisas, foi necessário adotar uma estimativa média nacional para dividir o consumo de lenha entre origem renovável (silvicultura e florestas nativas de manejo) e não renovável (florestas nativas sem manejo e desmatamento). As emissões de CO_2 atribuídas aos blocos e telhas cerâmicos se devem preponderantemente à parcela não renovável da lenha.

Sendo assim, recomenda-se que o setor de cerâmica vermelha faça uma coleta de dados primários setorial, junto aos fabricantes brasileiros, contemplando o consumo de matérias-primas, energia elétrica e combustíveis, incluindo a comprovação da origem da lenha, quando esta for o combustível utilizado no processo. A realização de uma coleta de dados padronizada e em grande escala permitirá a revisão dos inventários inseridos por hora no SIDAC, com base em informações verificadas e confiáveis, e produzirá um *benchmark* efetivo de desempenho ambiental para os produtos de cerâmica vermelha utilizados na construção civil.

7 Referências

ABRAHAO, R.; CARVALHO, M. Environmental Impacts of the Red Ceramics Industry in Northeast Brazil. **International Journal of Emerging Research in Management and Technology**, vol. 6, no. 8, p. 310, 2018. https://doi.org/10.23956/ijermt.v6i8.158.

ANICER. ANICER - Dados do setor. 2022. Disponível em: https://www.anicer.com.br/anicer/setor/. Acesso em 10.02.2022.

ARLINDO, V. J. C. **Pegada hídrica no sistema produtivo de uma olaria de cerâmica vermelha no Ceará**. 2019. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2019.

BARBOSA, P. P.; SILVA, T. L.; GALASSI, C.; LUZ, S.; DE ANGELIS NETO, G. Análise dos impactos ambientais da produção de blocos cerâmicos. 2012. In: **III Simpósio de Pós Graduação em Engenharia Urbana**. Maringá: UEM, 2012.

BERNI, M. D. **Oportunidades de eficiência energética para a Indústria - Relatório setorial - Setor cerâmico**. Brasília: CNI, 2010.

BUENO, C. **Avaliação de Ciclo de Vida na Construção Civil : Análise de Sensibilidade**. 2014. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

CARVALHO, A. S. **Caracterização ambiental da produção de bloco cerâmico na Bahia**. 2019. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Santa Cruz, Santa Cruz, 2019.

ARAÚJO, D. T. R.; BRITO, W. O. Avaliação do Ciclo de Vida na fabricação de tijolos cerâmicos na

cidade de Monteiro - PB. 2015. In: **VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental** [...]. Porto Alegre: IBEAS, 2015.

DO Ó, K. D. S. **Estudo das etapas de produção e comparativo de fornos do setor ceramista do sertão paraibano**. 2016. Universidade Federal de Campina Grande, 2016.

EPE. **Balanço Energético Nacional - BEN 2021 - Ano base 2020**. Rio de Janeiro: EPE, 2021.

ESCOBAR, J. F. **A produção sustentável de biomassa florestal para energia no Brasil: O caso dos pellets de madeira.** 2017. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

FIEMG; FEAM. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica vermelha**. Belo Horizonte: FIEMG, 2013.

GRIGOLETTI, G. D. C. **Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha do estado do Rio Grande do Sul**. 2001. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

IBGE. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. 2020. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2020.

J MENDO CONSULTORIA. **Relatório Técnico 32 - Perfil da Argila**. Brasília, 2010.

KELLENBERGER, D.; ALTHAUS, H.-J.; KÜNNINGER, T.; LEHMANN, M.; JUNGBLUTH, N.; THALMANN, P. **Life Cycle Inventories of Building Products. ecoinvent report n. 7**. Dübendorf: ecoinvent, 2007.

LOPES, G. de A.; BRITO, J. O.; DE MOURA, L. F. Uso energético de resíduos madeireiros na produção de cerâmicas no Estado de São Paulo. **Ciência Florestal**, vol. 26, no. 2, p. 679–686, 2016. https://doi.org/10.5902/1980509822767.

MANFREDINI, C.; SATTLER, M. A. Estimativa da energia incorporada a materiais de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul. **Ambiente Construído**, vol. 5, no. 1, p. 23–37, 2005.

MCTI; INT. **Manual de fornos eficientes para indústria de cerâmica vermelha**. Rio de Janeiro: INT/MCTI, 2015.

MCTIC; INT. **Manual da escolha da biomassa combustível em indústrias de cerâmica vermelha no Nordeste**. Rio de Janeiro: INT/MCTI, 2016.

MILANEZ, A. **Estudo dos impactos ambientais em fábrica de blocos cerâmicos na cidade de Prudentópolis - PR com base na Avaliação do Ciclo de Vida**. 2018. Monografia (Trabaho de Conclusão de Curso) .Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco,2018.

MME; EPE; BANCO MUNDIAL; APPLUS; QUALITEC. **Análise da eficiência energética em segmentos industriais selecionados: cerâmica**. Brasília, 2018.

NICOLAU, V. P. A importância da curva de queima em fornos cerâmicos. **Cerâmica Industrial.** vol. 17, no. 2, Mar/Abr 2012. http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2014.010.

QUANTIS CANADA. **Análise comparativa do ciclo de vida das telhas cerâmicas versus telhas de concreto.** Montreal: Quantis, 2011.

QUANTIS CANADA. **Análise comparativa do ciclo de vida de paredes construídas com blocos cerâmicos, blocos de concreto e concreto armado in loco**. Montreal: Quantis, 2012.

ROSSI, C. T. **Análise técnica dos tijolos maciços e blocos cerâmicos de vedação produzidos na região da Grande Santa Rosa - RS.** 2017. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Santa Rosa, 2017.

SOARES, S. R.; PEREIRA, S. W. Inventário da produção de pisos e tijolos cerâmicos no contexto da análise do ciclo de vida. **Ambiente Construído**, vol. 4, no. 2, p. 83–94, 2004.

TAVARES, S. F.; BRAGANÇA, L. Índices de CO2 para materiais de construção em edificações brasileiras. 2016. **SBE Series - Brazil & Portugal**. Vitória: SBE, 2016.

VINHAL, L. D. **Estudo De Indicadores Ambientais De Blocos Cerâmicos Com Base Em Avaliação Do Ciclo De Vida, Considerando O Contexto Brasileiro**. 2016. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos2016.

VON MÜHLEN, J. F.; TAVARES, S. F. Avaliação do ciclo de vida energético da cerâmica vermelha. 2021. In: **IV Encontro Latino-Americano e Europeu sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**. Salvador: ANTAC, 2021.

8 Apêndice - Verificação das informações disponíveis nas referências consultadas

Informações	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Período a que os dados se referem	2002-2003	2017-2018	2014-2015	N/D	2012	2000	2012	2003	2021	N/D	~ 2016	N/D	2017	N/D
Local (região, cidade, estado)	S	S	S	S	S	S	N	S	S	N	S	N	S	S
Fluxograma do processo	S	S	S	S	N	S	N	S	S	N	N	S	S	N
Detalhamento do processo unitário	S	S	S	S	S	S	N	S	S	N	N	S	S	S
Processo unitário possui diferencial	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Indica a representatividade dos dados	N/A	N/A	N/A	N	N/A	N/A	N	N/A	N/A	N	N/A	N	N/A	N/A
Adota algum critério de corte	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Publicação apresenta dados primários nacionais	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N	S	S	S	S
Publicação apresenta dados estimados nacionais	N	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	S	N	N
Especificadas as incertezas dos fluxos	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Possui fluxos de insumos materiais	N	S	S	S	S	N	S	S	N	N	N	N	S	S
Possui fluxos de insumos energéticos	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Possui fluxos de água	N	S	S	S	S	N	S	S	N	N	N	N	S	S
Possui fluxos de geração de resíduos	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Indica unidade de referência dos fluxos	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Unidade de referência é a mesma do SIDAC	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Especificados os fatores para conversão	N	S	S	S	N	N	N	N	S	N	N	N	N	N
Necessário fatores de conversão não especificados	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Critério de alocação especificado na publicação	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Publicação apresenta balanço de massa	N	N	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N
Identificado tipo de transporte das matérias-primas	N	S	S	S	N	S	N	N	N	N	N	N	S	S
Distância de transporte das matérias-primas	N	S	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	S	S
Especificado se veículo volta vazio	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N

S: sim, N: não, N/A: não se aplica; N/D: não disponível

Lista de referências:

1. Manfredini e Sattler (2005)
2. Carvalho (2019)
3. Vinhal (2016)
4. Quantis (2011, 2012)
5. Barbosa (2012)
6. Grigoletti (2001)
7. Bueno (2014)
8. Soares e Pereira (2004)
9. Von Mühlen e Tavares (2021)
10. Tavares e Bragança (2016)
11. Lopes, Brito e Moura (2016)
12. MME et al. (2018)
13. Milanez (2018)
14. Abrahão (2018)
15. Do Ó (2016)

Foram verificadas apenas as referências das quais aproveitaram-se dados de inventário.