

QUANTIFICAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA COMO ESTRATÉGIA PARA A SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO DO PORCELANATO

ALEXANDRE MAGNO VIEIRA GONÇALVES DE BRITO
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

ANA LYVIA TABOSA DA SILVA

MONICA CARVALHO

Introdução

As matérias-primas empregadas no setor da construção civil são diversos: metais, cimento, cascalho, tijolo, plástico, vidro, madeira, cerâmica etc. Isto resulta no alto consumo de recursos naturais bem como na geração de resíduos.

Problema de Pesquisa e Objetivo

Com as preocupações atuais relacionadas às questões ambientais é pertinente identificar processos poluentes para propor medidas eficientes de mitigação. Neste sentido este trabalho tem como objetivo calcular a pegada de carbono associada ao consumo energético do processo produtivo de porcelanato.

Fundamentação Teórica

Para isto foi-se utilizado dados reais de uma linha de produção de uma indústria cerâmica em João Pessoa/PB e para o cálculo da pegada de carbono a metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). O diferencial neste estudo é a utilização de um processo representativo do mix elétrico brasileiro, no qual contabiliza emissões de 0.268 kg CO₂-eq/kWh. Além da energia elétrica, um dos maquinários da linha de produção consome coque de petróleo.

Metodologia

Para auxiliar na contabilização do impacto foi utilizado o Software Simapro na versão 9.3.0.2 (PréSustainability, 2021). A base de dados utilizada para o inventário energético foi a Ecoinvent versão 3.5 (ECOINVENT, 2019). O método da avaliação de impacto foi o IPCC 2013 GWP 100a (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, 2013). Este método agrupa as emissões de GEE numa métrica comum, em CO₂-eq (IPCC, 2014).

Análise dos Resultados

Neste sentido a emissão de gases de efeito estufa relacionada ao consumo energético do processo produtivo do porcelanato é de 70.711 kg CO₂-eq/t de porcelanato. Como sugestão mitigatória para esta emissão foi proposta a instalação de painéis fotovoltaicos, os quais reduzem a emissão de GEE em 9.027 kg CO₂-eq/mês a cada 20% de eletricidade substituída. Tal medida fortalece o mercado nacional de cerâmicas para a exportação, haja vistas que a preservação ambiental é critério preferencial no mercado externo.

Conclusão

Neste trabalho a metodologia da ACV foi utilizada para quantificar as emissões de gases de efeito estufa relacionadas ao consumo energético da produção do porcelanato. Considerando a linha de produção de porcelanato estudada com produção mensal de 2.685.425 kg de porcelanato (produto acabado), as emissões foram de 70.71 kg CO₂-q/ t de porcelanato acabado. Uma proposta de mitigação de emissões pode envolver a substituição energética, visto que a cada 20% de substituição da eletricidade da rede por energia solar fotovoltaica evitam-se a emissão de 9.027 kg CO₂-eq/mês.

Referências Bibliográficas

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gestão ambiental -Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações: NBR ISO 14044, Rio de Janeiro, ABNT, 2009 – versão corrigida 2014a. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Revised supplementary methods and good practice guidance arising from the kyoto protocol. (2013). Disponível em: . Acesso em: 27 mai. 2022. Pré Sustainability. SIMAPRO. Software 2019. Disponível em: www.simapro.nl. Acesso em: 10 abr. 2022.

Palavras Chave

Porcelanato, Avaliação do Ciclo de Vida, Pegada de Carbono

Agradecimento a órgão de fomento

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade (309452/2021-0).

QUANTIFICAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA COMO ESTRATÉGIA PARA A SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO DO PORCELANATO

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor importante para a economia brasileira. Em 2020 empregou mais de 110.000 trabalhadores com carteira assinada (CADASTRO GERAL DE EMPREGADOS E DESEMPREGADOS - CAGED, 2021). Os materiais empregados no mercado da construção civil são diversos: metais, cimento, cascalho, tijolo, plástico, vidro, madeira, cerâmica etc. Neste sentido, tanto o uso de recursos naturais como os resíduos produzidos pela indústria da construção civil são variados e têm potencial de gerar consideráveis impactos ambiental. Assim sendo, é necessário que haja verificação e controle sobre a cadeia de valor nesta indústria a fim de mitigar os impactos causados ao meio ambiente.

A cadeia de suprimento da construção civil consome globalmente aproximadamente de 14% a 50% da matéria-prima extraída da natureza, 16% dos recursos hídricos, e 40% de toda fonte de energia. Além disto gera de 40% a 70% dos resíduos sólidos e cerca de 10% das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera, estes valores incluem todos os reparos e manutenções necessários durante a vida útil das construções (MEDEIROS *et al.*, 2018).

Hoje o Brasil é um dos maiores produtores e consumidores mundiais de revestimento cerâmico. No que tange a produção, ocupa o terceiro lugar no *ranking*, ficando atrás da China e Índia (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA, REVESTIMENTO, LOUÇAS E CONGÊNERES - ANFANCER, 2021). Neste contexto, a indústria de cerâmica brasileira tem participação na ordem de 1,0% no Produto Interno Bruto (PIB) nacional (BUSTAMANTE, BRESSIANI, 2000). A produção concentra-se nas regiões Sul e Sudeste com os maiores produtores. Entretanto a região Nordeste vem destacando-se como um polo produtivo haja vistas as suas condições favoráveis quanto a disponibilidade de recursos naturais, energia, mercado em desenvolvimento e localização estratégica para exportações (ANFANCER, 2021).

Existem diversas qualidades de cerâmicas utilizadas em diferentes aplicações: cerâmica estrutural, revestimentos, sanitária, louça de mesa e adornos, fritas, vidrados e corantes, entre outras. A produção de cerâmica é versátil e demanda elevadas quantidades de insumos e energia e por isto é interessante estudar os impactos ambientais advindos da produção delas. Com isto é possível indústria e academia proporem inovações para mitigar tais impactos.

Além disto, o Ministério do Meio Ambiente do Brasil alinhado com as políticas internacionais de sustentabilidade no setor da construção civil, definiu construção sustentável como “[...] um processo holístico que aspira a restauração e manutenção da harmonia entre os ambientes natural e construído, e a criação de assentamentos que afirmem a dignidade humana e encorajem a equidade econômica [...]” (BRASIL - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2016). Assim sendo, as políticas e incentivos governamentais destinados a promover a sustentabilidade valorizam produtos e serviços que promovam tal caráter.

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta de gestão ambiental que permite calcular o impacto ambiental de produtos e serviços de forma holística, desde a produção de suas matérias-primas até a deposição residual. Assim, ela pode ser usada para comparar a

performance ambiental de diferentes produtos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2014a) e para identificar processos ou fases operacionais cuja impacto ambiental sejam mais severos ao meio ambiente. Neste contexto, é uma ferramenta útil para auxiliar o processo de tomada de decisão relacionadas às questões de impacto ambientais (INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA - IBICT, 2019).

Este trabalho tem como objetivo aplicar a ACV para quantificar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) relacionadas ao consumo energético de um processo produtivo de porcelanato numa indústria cerâmica localizada em João Pessoa, PB, Brasil. O propósito deste trabalho é alcançar os *stakeholders* da indústria cerâmica, desde os proprietários até os consumidores, quantificando as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera advindos do consumo energético da produção. Além disto este trabalho também propõe maneiras estratégicas para diminuir tais emissões. O intuito final é conscientizar produtores e consumidores sobre a importância de optar por fontes energéticas menos agressivas à natureza e promover a sustentabilidade ambiental no setor da construção civil brasileira.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O processo produtivo cerâmico

O processo produtivo de material cerâmico consiste em: preparação de massa e matérias-primas, atomização, conformação (prensagem), secagem, esmaltação, decoração, tratamento térmico, acabamento e seleção (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA - ABCERAM, 2017). A Figura 1 representa o fluxograma deste processo.

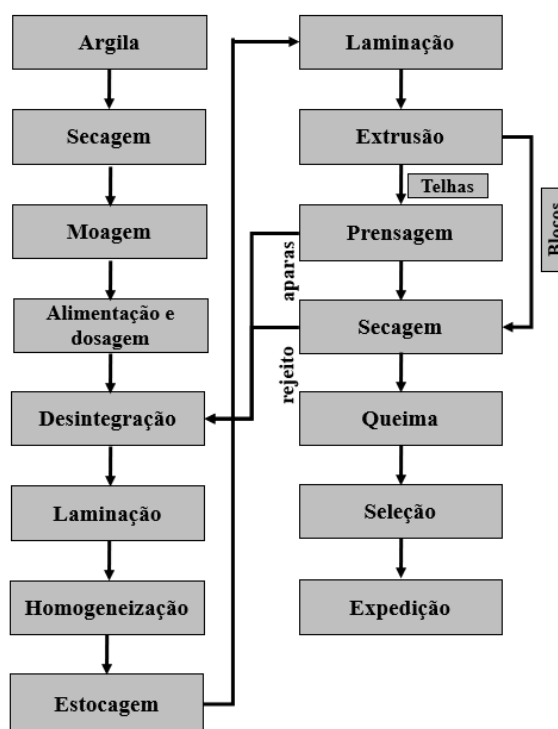


Figura 1 Processo produtivo de material cerâmico.
Fonte: Construído com base de dados de ABCERAM (2017).

A maior parte das matérias-primas empregada na produção de cerâmica tradicional são naturais e estão disponíveis por todo o globo. Após a mineração da matéria-prima, ela é beneficiada, ou seja, desagregada ou moída, em granulometria desejada e podendo ser também purificada. No caso das matérias-primas sintéticas, a maioria já são fornecidas prontas para o uso, podendo em alguns casos ser necessário um ajuste na granulometria. O produto começa a tomar forma logo após estas atuações. A preparação da massa envolve a matéria-prima, além de insumo, água ou outro meio. A massa segue em esteira para os moinhos onde mais água é adicionada formando a barbotina.

Em alguns tipos de cerâmica após a moagem a barbotina segue para o processo de atomização. O atomizador seca a barbotina pulverizando-a e juntando-a com um jato de ar quente, a uma temperatura média de 700°C. O aquecimento no atomizador é promovido pela combustão de gás natural ou coque de petróleo. O resultado é uma massa granulada parcialmente seca. Depois da atomização a massa segue para a prensagem (conformação). Neste passo, o pó atomizado ganha o formato desejado. Após a conformação as peças ainda contêm água. A fim de evitar tensão e por conseguinte defeito na peça (trincas, bolhas, empenos etc.) é necessário eliminar a água residual contida. Neste sentido as peças são secadas em secadores intermitentes ou contínuos com temperaturas entre 50°C e 150°C, de modo que a umidade residual seja baixa, entre 0,8% a 1,5%.

Em sua maioria, após a secagem os produtos cerâmicos recebem uma camada de esmalte ou vidrado e seguem para o processo de sinterização, após o qual a peça apresentará aspecto vítreo melhorando a qualidade e a aparência, bem como algumas de suas propriedades mecânicas e elétricas. Na sinterização são utilizados fornos de secagem contínua ou intermitente, cuja temperatura varia entre 800°C e 1.700°C. Após a sinterização o produto é esfriado, acabado, inspecionado e embalado para a expedição. Em alguns tipos de cerâmicas são necessários procedimentos extras como polimento, corte, furação, e/ou acabamento minucioso.

2.2 Avaliação de Ciclo de Vida

A metodologia da ACV é internacionalmente padronizada pela *International Organization for Standardization* (ISO) em suas normas ISO 14040 (2006) e ISO 14044 (2006). No Brasil, a Associação brasileira de Normas Técnicas (ABNT) as traduziu e foram designadas com as mesmas numerações (ABNT, 2014a; ABNT 2014b). De acordo com a NBR ISO 14.040 que dispõe sobre a gestão ambiental, a ACV estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo da vida de um produto, incluindo todo processo ou atividade, envolvendo extração e processamento de matérias-primas; fabricação, transporte e distribuição; uso/reuso/manutenção; reciclagem; e disposição final. A ACV é realizada em quatro fases: i) definição de objetivo e escopo ii) análise de inventário iii) avaliação de impacto e iv) interpretação.

O escopo de uma ACV, incluindo a fronteira do sistema e o nível de detalhamento, depende do objeto e do uso pretendido para o estudo. A profundidade e a abrangência da ACV podem variar consideravelmente, dependendo do objetivo do estudo em particular. No escopo, deve-se constar: a função do sistema (finalidade para a qual o produto estudado se destina, ou seja, a característica de desempenho do produto); unidade funcional (unidade quantificada da função do sistema, fornecendo uma referência mensurável); fluxo de referência (quantidade necessária

do produto para realizar a função expressa pela unidade funcional); fronteiras do sistema inicial (definição de quais processos serão incluídos no sistema a ser modelado) e requisitos de qualidade dos dados (ABNT, 2014a).

Na fase de análise de inventário de recursos e emissões, agrupam-se todas as emissões liberadas no ambiente e os recursos extraídos dele ao longo de todo o ciclo de vida de um produto, e envolvendo também os fluxos intermediários entre os processos. A isto se chama Inventário de Ciclo de Vida (ICV) (UNEP/SETAC, 2011). Ou seja, a fase de análise de inventário do ciclo de vida trata-se de um inventário dos dados de entrada/saída associados ao sistema em estudo. Ademais, essa fase envolve a coleta dos dados necessários para o alcance dos objetivos do estudo em questão.

A fase de avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) é a terceira fase da ACV e tem o objetivo de prover informações adicionais para ajudar na avaliação dos resultados do ICV de um sistema de produto, visando ao melhor entendimento de sua significância ambiental. Impactos ambientais podem ser avaliados no ponto médio (*midpoint*) ou no ponto final (*endpoint*) (UNEP/SETAC, 2011). Os impactos nos *midpoints* são consequências intermediárias do inventário (processos do sistema) e fluxos de recursos que se agregam para configurar os impactos de *endpoints* (ISMAEEL, 2018). Já os impactos de *endpoints* representam o atributo do ambiente natural, saúde humana ou recursos, que identificam uma questão ambiental que causa motivo de preocupação (ISO 14040, 2006).

A fase final é a interpretação do ciclo de vida, na qual os resultados de um ICV e/ou de uma AICV, ou de ambos, são sumarizados e discutidos como base para conclusões, recomendações e tomada de decisão de acordo com a definição de objetivo e escopo (ABNT, 2014a). Esta etapa deve gerar um conjunto de conclusões e recomendações, bem como levantar questões ambientais significativas, incluindo uma avaliação do estudo considerando sua integridade e limitações (ABNT, 2014a; UNEP/SETAC, 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo de caso investiga a linha de produção de porcelanato de uma fábrica de cerâmica que possui cinco linhas de produção variadas, descritas na Tabela 1. A linha estudada neste trabalho é a de número dois, que produz cerâmica tipo porcelanato em três tamanhos, 32x64 cm; 32x66 cm e 50x50 cm, a depender da programação da equipe de planejamento de controle da produção.

Tabela 1 Formatos e capacidade das linhas de produção. Fonte: Adaptado de Marques (2017).

Linha de produção	Formatos produzidos	Tipologia	Capacidade de Produção
01	10x10cm e 20x20cm	Cerâmica	4.900 m ² /dia
02	32x64; 32x66; 50x50; 61x61cm	Porcelanato / Monoporosa	7.000 m ² /dia
03	05x10cm	Cerâmica	2.200 m ² /dia
04	50x50cm e 61x61cm	Porcelanato	8.000 m ² /dia
05	10x10cm	Cerâmica	5.000 m ² /dia

Todas as linhas de produção nesta fábrica operam todos os dias em três turnos. A capacidade de produção diária da fábrica é de 27.100 m². Para o levantamento do inventário de dados do consumo energético, foram consultados os setores de manutenção e qualidade. Além disso, um questionário foi enviado para coletar todas as informações técnicas necessárias sobre os equipamentos. A catalogação dos dados foi gerada entre os meses de março e abril de 2022. Durante este intervalo de tempo a linha de produção operou todos os dias da semana em três turnos, sem perspectiva de paradas de manutenção, totalizando 720 horas de produção com produção aproximada de 210.000 m² por mês, de acordo com o planejamento de produção. Diante desta produção tem-se a fabricação de 2.685.425 kg de porcelanato ao final do mês.

3.1 Avaliação de Ciclo de Vida

O objetivo da ACV nesta pesquisa é quantificar as emissões de GEE associadas a manufatura do porcelanato na linha de produção dois da empresa objeto de estudo. O escopo da ACV abrange somente o consumo energético do processo de fabricação do porcelanato conforme ilustrado no fluxograma da Figura 2. A unidade funcional para a análise foi 1 quilograma de produto acabado na porta da fábrica para expedição.

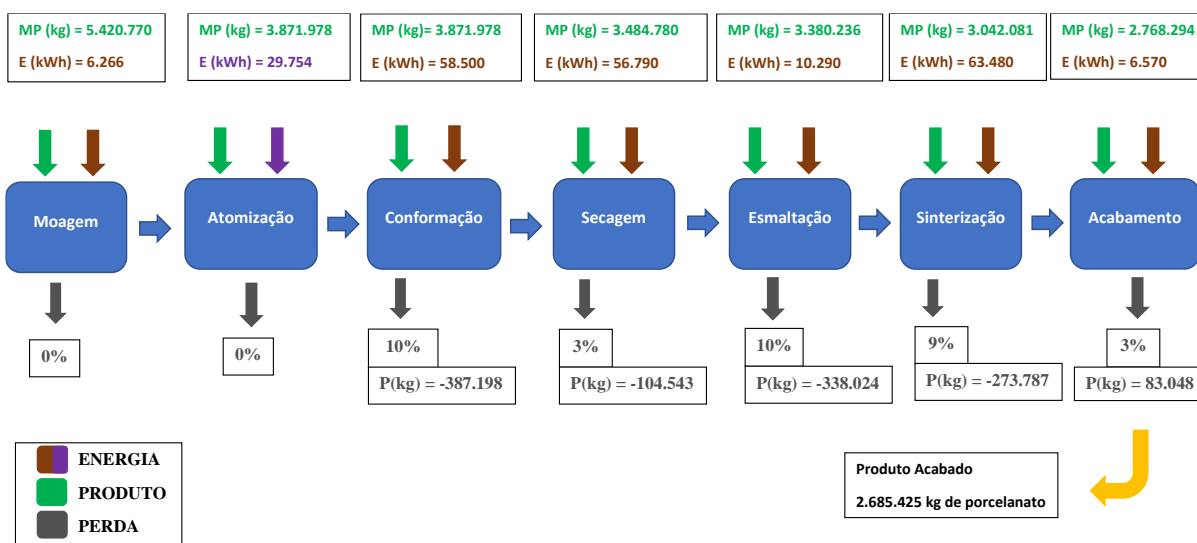


Figura 2 Fluxograma de produção de porcelanato pela linha 02 (BRITO; SILVA; CARVALHO, 2022).

Para auxiliar na contabilização do impacto foi utilizado o Software Simapro na versão 9.3.0.2 (PréSustainability, 2021). A base de dados utilizada para o inventário energético foi a Ecoinvent versão 3.5 (ECOINVENT, 2019). O método da avaliação de impacto foi o IPCC 2013 GWP 100a (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*, 2013). Este método agrupa as emissões de GEE numa métrica comum, em CO₂-eq (IPCC, 2014).

Um diferencial deste trabalho é que ele não utiliza diretamente o processo de eletricidade brasileiro da base de dados da Ecoinvent. A fim de representar mais idoneamente a matriz energética brasileira é utilizado o modelamento proposto por Carvalho e Delgado (2017), que considera o mix elétrico brasileiro de 2021 (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA – ONS 2022) 63.35% de hidráulica, 11.97% de eólica, 11.49% de gás natural, 4.37% de biomassa, 2.77% de carvão, 2.47% de nuclear, 2.17% de óleo e 1.29% de solar.

Referindo-se ao coque de petróleo que é utilizado para alimentar o atomizador, o processo representativo utilizado derivou diretamente da base de dados Ecoinvent (ECOINVENT, 2019), e inclui a produção do coque a partir do carvão, onde os produtos são coque, benzeno e alcatrão. A multifuncionalidade deste processo é endereçada pela base de dados através da alocação física, no qual 79.8% da energia, matéria e emissões são alocados para a produção do coque (ECOINVENT, 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando os processos associados ao consumo de eletricidade do mix brasileiro de 2021 e ao consumo de coque de petróleo, a emissão de GEE é de 0.268 kg CO₂-eq/kWh e 0.558 kg CO₂-eq/kWh, respectivamente.

Com base nesses valores, a Figura 3 mostra o fluxograma das emissões de GEE por equipamento da linha de produção. As setas em amarelo indicam os equipamentos que consomem eletricidade, enquanto a seta magenta indica o único equipamento que opera com coque de petróleo.

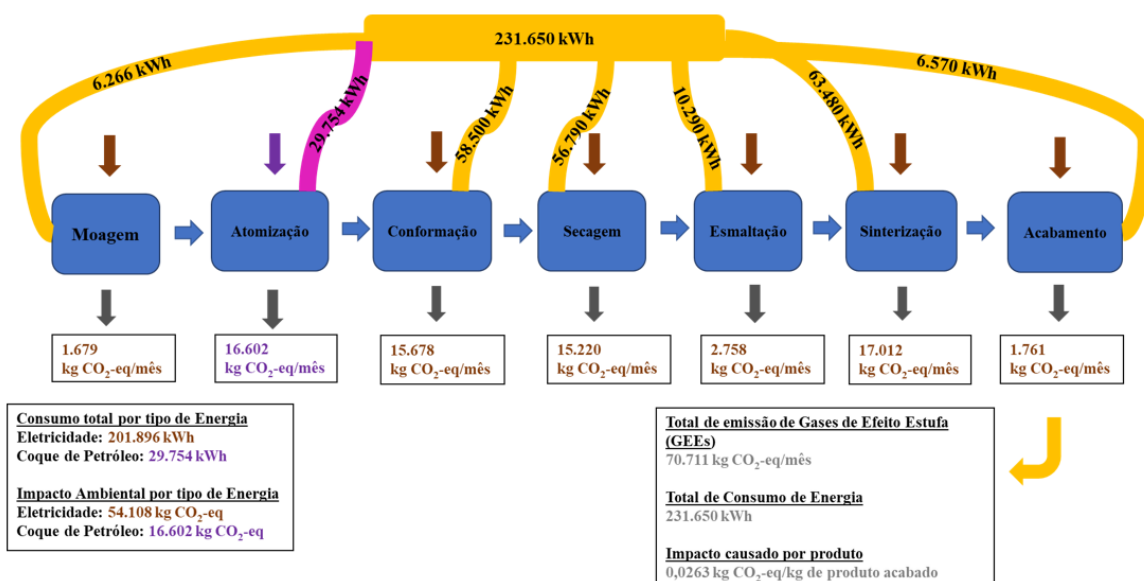


Figura 3 Emissões de gases de efeito estufa associadas às diferentes etapas do processo produtivo mensal de porcelanato. Fonte: Elaborado pelos autores.

O valor final das emissões associadas ao consumo energético da linha 02 de porcelanato é de 0,0263 kg CO₂-eq/ kg de produto acabado, com emissões totais de 70.711 kg CO₂-eq mensais.

Com relação aos equipamentos que consomem eletricidade, houve um consumo energético de 201.896 kWh, ocasionando um impacto total de 54.108 kg CO₂-eq. No caso do atomizador, o maquinário exclusivo que utiliza como fonte de energia o coque de petróleo, acaba por consumir 29.754 kWh emitindo para o meio ambiente a quantidade de 16.602 kg CO₂-eq.

Os equipamentos pertencentes ao processo produtivo de porcelanato que mais impactam o ambiente com o seu consumo de energia são: atomização; conformação; secagem e sinterização. Por efeito do alto consumo de eletricidade, os processos de conformação, secagem e sinterização são os que causam um prejuízo maior ao meio ambiente. O processo de atomização também possui um alto impacto ambiental, devido ao consumo de combustível fóssil (coque de petróleo).

Uma proposta de mitigação de GEE é mudar ou substituir parcialmente a fonte elétrica da fábrica. Uma análise de sensibilidade é proposta neste trabalho para avaliar o potencial mitigador da energia solar no contexto desta fábrica. Neste sentido uma nova ACV é conduzida substituindo parte da demanda energética da fábrica que é retirada da rede elétrica por painéis fotovoltaicos. Para o consumo de eletricidade oriunda de painéis fotovoltaicos, selecionou-se o processo *Electricity, low voltage {BR}| electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted* / da base de dados Ecoinvent (ECOINVENT, 2019). O processo brasileiro compreende a geração de eletricidade (baixa tensão) em um sistema de 3 kW_p instalado em um telhado inclinado, com vida útil de 30 anos. Inclui ainda a fabricação e instalação do painel de silício multi-cristalino (mc-Si, com eficiência de 13.5% e espessura da célula 270-300µm), equipamentos auxiliares, cabeamento, e água utilizada na manutenção (limpeza). As emissões de GEE associadas ao consumo de 1 kWh de eletricidade fotovoltaica é 0.0766 kg CO₂-eq.

A

Tabela 2 mostra a substituição progressiva da eletricidade oriunda da rede elétrica por eletricidade fotovoltaica, 0% corresponde ao caso base (*Business as Usual*).

Tabela 2 Emissões de gases de efeito estufa para fornecimento de 201.896 kWh de energia elétrica, com diferentes participações da energia fotovoltaica na linha de produção 02 de porcelanato. Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

	Caso base: 100% elétrica	80% rede elétrica + 20% solar	60% rede elétrica + 40% solar	40% rede elétrica + 60% solar	20% rede elétrica + 80% solar	100% solar
kg CO₂-eq	54.108	45.087	37.682	30.276	22.871	15.465

No caso de 100% da demanda elétrica da linha de produção analisada advir da energia solar, as emissões seriam de 15.645 kg CO₂-eq/mês. Este valor representa uma redução de 72% quando comparado a utilização integral de eletricidade da rede elétrica nacional, que é 54.108 kg CO₂-eq/mês. Ainda que analisando uma substituição menos radical, é perceptível os benefícios de utilizar a energia solar. O incremento de apenas 20% de energia solar na demanda energética da produção representa em média uma redução de 9.027 kg CO₂-eq./mês na pegada de carbono da linha de porcelanato estudada. Como proposta futura sugere-se uma análise de custo-benefício quanto a instalação destes painéis fotovoltaicos a fim de fortalecer ainda mais e justificar este tipo de investimento no setor fabril.

As emissões potencialmente evitadas com a substituição energética podem ser extrapoladas, pois considerou-se o mix elétrico brasileiro (mix de geração em 2021, contabilizando as importações) e que a tecnologia de produção para porcelanato analisada é representativa dos padrões disponíveis no mercado nacional. Neste sentido, uma vez extrapolado para o mercado nacional de porcelanato, cuja capacidade de produção mensal é de 1.710.860 t, a implementação

de apenas 20% de energia solar na demanda energética das fábricas, evitaria a emissão de 62.755 t CO₂-eq por ano. Tal redução está de acordo com as diretrizes do Ministério do Meio Ambiente para a construção sustentável, além de agregar valor ao porcelanato exportado considerando as exigências sustentáveis dos mercados internacionais.

5 CONCLUSÃO

A indústria cerâmica brasileira é uma das maiores do mundo, e a redução de emissões no seu processo produtivo fortalece a sua competitividade frente ao mercado internacional.

Neste trabalho a metodologia da ACV foi utilizada para quantificar as emissões de gases de efeito estufa relacionadas ao consumo energético da produção do porcelanato. As emissões relacionadas ao consumo de 1 kWp de eletricidade da rede elétrica brasileira foram quantificadas em 0,268 kg CO₂-eq, enquanto as emissões associadas ao consumo de 1 kWh de coque de petróleo foi 0,558 kg CO₂-eq. Considerando a linha de produção de porcelanato estudada com produção mensal de 2.685.425 kg de porcelanato (produto acabado), as emissões foram de 70.71 kg CO₂-q/ t de porcelanato acabado.

Uma proposta de mitigação de emissões pode envolver a substituição energética. Observou-se que a cada 20% de substituição da eletricidade da rede por energia solar fotovoltaica evitam-se a emissão de 9.027 kg CO₂-eq/mês. Em um ano de operação, obtêm-se uma redução do impacto ambiental avaliada em 108.252 kg CO₂-eq/ano.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode ser verificada outra forma de substituição energética (usina solar fotovoltaica, por exemplo) assim como estratégias para diminuir as perdas de porcelanato e matéria ao longo da linha de produção. Nesse caso, aumenta-se a produção de porcelanato (produto acabado) e consegue-se reduzir as emissões específicas por tonelada produzida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade (309452/2021-0).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCERAM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. Disponível em: <<https://www.abceram.org.br>>. Acesso em: 17 abr. 2022
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações: NBR ISO 14044, Rio de Janeiro, ABNT, 2009 – versão corrigida 2014a.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações: NBR ISO 14044, Rio de Janeiro, ABNT, 2009 – versão corrigida 2014b.

- ANFANCER - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES. Disponível em: <<https://www.anfancer.org.br>>. Acesso em: 07 jun. 2022.
- BRASIL - Ministério do meio ambiente – Construção Sustentável. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br>>. Acesso em: 04 jul. 2022
- BUSTAMANTE, G.; BRESSIANE, J., 2000, “A indústria cerâmica brasileira.”, **Cerâmica Industrial**, v.5, n. 2 (maio), pp. 33-35.
- CAGED, Cadastro Geral de Empregados e Desempregados. Disponível em: <<https://www.gov.br>>. Acesso em 08 jun. 2022
- CARVALHO, M.; DELGADO, D., 2017, “Potential of photovoltaic solar energy to reduce the carbon footprint of the Brazilian electricity matrix”, **Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida**. v.1, n. 1 (julho), pp. 64-85.
- ECOINVENT. The ecoinvent database 3.5 (2019). Disponível em: <<http://www.ecoinvent.org/>>. Acesso em: 22 mai. 2022.
- IBICT - INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Avaliação do Ciclo de Vida. Disponível em: <<https://www.gov.br/ibict/pt-br>>. Acesso em 15 abr. 2022
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Revised supplementary methods and good practice guidance arising from the kyoto protocol. (2013). Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/>>. Acesso em: 27 mai. 2022.
- ISMAEEL, W. S. E., 2018 “Midpoint and endpoint impact categories in Green Building rating systems”, **Journal of Cleaner Production**. v. 182, n.7 (maio), pp. 783-793.
- ISO 14040 - International Organization for Standardization. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Genebra, ISO, 2006.
- ISO 14044 - International Organization for Standardization. Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. Genebra, ISO, 2006.
- MARQUES, M. H. V.P, 2017, **Análise da variabilidade do processo de sinterização em uma indústria de revestimentos cerâmicos e de porcelanato usando a ferramenta CEP**, Monografia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil.
- MEDEIROS, L. M.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A., 2018, A contribuição para a avaliação do ciclo de vida na quantificação de impactos ambientais de sistemas construtivos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.18, n.2 (abril) pp. 365-385.
- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA - ONS, 2022. Informativo Diário de Operação. IPDO 2022 <[https:// http://www.ons.org.br/publicacao/ipdo/](https://http://www.ons.org.br/publicacao/ipdo/)>.
- Pré Sustainability. SIMAPRO. Software 2019. Disponível em: www.simapro.nl. Acesso em: 10 abr. 2022.
- UNEP/SETAC. Guidelines for social life cycle assessment of products. [S.l: s.n.], 2009.