

AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE UMA EDIFICAÇÃO

ASSESSMENT OF A BUILDING ENVIRONMENTAL IMPACTS

ANELISE SCHMITZ, M.Sc. | UFRGS

JULIANO LIBRAGA | UFRGS

MIGUEL ALOYSIO SATTLER, Ph.D. | UFRGS

RESUMO

O presente trabalho apresenta a quantificação, caracterização e avaliação dos impactos ambientais relacionados ao subsistema de vedação e respectivos revestimentos, para uma edificação a ser executada em um centro de referência para estudos de sustentabilidade, no município de Feliz/RS. O objetivo do estudo é analisar qualitativamente os impactos ambientais do subsistema de vedação, identificando materiais ou processos que possam ser substituídos ou otimizados para melhor desempenho. São abordados: o consumo energético e emissão de gases de efeito estufa relacionados ao transporte dos insumos; perdas; e o consumo energético, nos processos de manufatura, tendo, como método, os coeficientes unitários relacionados a cada tipo de impacto, encontrados na literatura referenciada. Por meio dos resultados, conclui-se que há um acréscimo de cerca de 40% no consumo total de massa do sistema, decorrentes de perdas na execução, o que poderá ser mitigado através de otimização e melhorias na gestão da construção.

PALAVRAS CHAVE: Avaliação de impacto ambiental; Subsistema de Vedação; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The present work presents the quantification, characterization and evaluation of the environmental impacts related to the subsystem of walls and its renderings, for a building to be constructed in a Reference Center for Sustainability Studies, in the municipality of Feliz, RS. The objective of this study is to qualitatively analyze the environmental impacts of the subsystem of walls, identifying materials or processes that can be replaced or optimized to improve its environmental performance. Energy consumption and emission of greenhouse gases related to the transport of materials and building components, as well as construction losses and energy consumption in manufacturing processes are discussed, using the appropriate coefficients related to each type of impact found in the literature. Among others, the results show that there is an increase of approximately 40% in the total mass consumption of the analysed subsystem, due only to losses in the execution, which could be mitigated through optimization and improvements in construction management.

KEY WORDS: Environmental impact assessment; Wall's Subsystem; Sustainability.



1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil desempenha um papel significativo para o alcance de sociedades mais sustentáveis. Mesmo quando a análise de sustentabilidade fica restrita apenas aos aspectos ambientais, observa-se serem enormes os impactos determinados pela grande quantidade de recursos consumidos, e de resíduos gerados, bem como pela falta de projetos em busca de uma maior sustentabilidade. No Brasil, bem como em países em desenvolvimento, os impactos ambientais do setor da construção civil são potencializados, devido a sua associação com outros problemas críticos de ordem econômica e social, como, por exemplo, o déficit habitacional (KUHN, 2006).

Segundo Kuhn (2006), as construções, particularmente a produção de moradias conduzem a intervenções no meio ambiente, que não estão relacionadas apenas aos impactos gerados no local onde se constrói, mas a todos os processos envolvidos na produção, uso e disposição final das edificações e de seus componentes. Ademais, tais impactos comprometem a saúde, conforto e bem-estar das populações envolvidas.

Neste sentido, o presente trabalho se insere no contexto da sustentabilidade ambiental na construção civil. Em busca de alternativas, busca quantificar os impactos de opções construtivas mais sustentáveis, tomando por referência o atendimento às necessidades de uma edificação projetada para integrar o Centro de Estudos Regenerativos e Sustentabilidade (CERES), na cidade de Feliz, RS. Este trabalho embasou-se nos métodos de avaliação ambiental adotados pela equipe de estudos focados em sustentabilidade, do Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Neste trabalho restringimo-nos à caracterização e avaliação ambiental do subsistema de vedação e revestimentos da referida edificação, avaliando a proposta para a edificação e, complementarmente, quantificando os materiais, e as cargas e os impactos ambientais envolvidos.

Além disso, tem o objetivo de avaliar se tesouras de bambu são viáveis estruturalmente para execução em coberturas de edificações, comparando com os resultados experimentais obtidos nos ensaios.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Conceito de sustentabilidade

A definição de sustentabilidade vem evoluindo ao longo de diversos e importantes congressos e encontros mundiais, envolvendo a todos os recursos necessários para o desenvolvimento das atividades humanas (EDWARDS, 2005).

A sustentabilidade visa a melhoria contínua da qualidade de vida das gerações presentes e futuras e a preservação do planeta, conjugando o desenvolvimento econômico, proteção ambiental e a justiça social. É na união harmoniosa destes três fatores que é embasado o conceito de sustentabilidade (SOUSA, 2010).

Conforme afirmam Florim e Quelhas (2005), esses três macros temas compõem o chamado "triple bottom line". A sinergia entre esses aspectos permeia o conceito de sustentabilidade, onde quer que ele seja aplicado, tanto em nível governamental, como da sociedade civil ou no aspecto empresarial. Pode-se também trabalhar com outras dimensões do desenvolvimento sustentável, como, por exemplo, os aspectos culturais, tecnológicos e políticos.

Em 1987, o Relatório Brundtland - "Nosso Futuro Comum", esclarece pela primeira vez o conceito de sustentabilidade como sendo a de "suprir as necessidades da geração presente, sem afetar a habilidade das gerações futuras de suprir as suas". A partir de então, pesquisas e estudos em todo o mundo aprofundaram tópicos relevantes para que se tenha uma construção sustentável, nos parâmetros vigentes quanto às questões ambientais (SOUSA, 2010; MANHÃES E ARAÚJO, 2014).

2.2. Projeto e construção sustentáveis

Um dos maiores desafios de um projeto que busca avanços em termos de sustentabilidade envolve a redução das mudanças climáticas, por meio da economia energética e do uso de certas técnicas, como a de avaliação do ciclo de vida. No entanto, projetar de forma mais sustentável também requer a criação de espaços saudáveis, viáveis economicamente, e sensíveis às necessidades sociais. Significa, adicionalmente, respeitar os sistemas naturais e aprender por meio dos processos ecológicos (EDWARDS, 2005).

A construção sustentável requer o desenvolvimento sustentável da indústria da construção civil, em seu todo, o que pressupõe, também, uma abordagem interdisciplinar. A construção sustentável visa contribuir no sentido de deixar às gerações futuras um planeta mais sustentável, constituindo uma moderna estratégia, direcionada à produção de edificações mais seguras e saudáveis, fundamentada na redução da poluição; na economia de energia e água; na diminuição da pressão de consumo sobre matérias-primas naturais; e no aprimoramento das condições de segurança e saúde dos trabalhadores, usuários finais e comunidade, em geral (FLORIM e QUELHAS, 2005).

De acordo com a Agenda 21, no que concerne ao setor da construção civil, as edificações se tornaram alvos de pesquisas para a melhoria das relações da vida humana

com o meio ambiente. Assim, foi dado início a uma busca, não somente de eficiência energética, mas também de fontes de energias renováveis, tratamento de esgotos, reutilização da água e até de materiais de construção que tornem os impactos gerados menos agressivos ao meio ambiente, começando uma corrida para o desenvolvimento sustentável para a área da construção civil (MANHÃES e ARAÚJO, 2014).

2.3. Sistema construtivo de vedações e revestimentos

Um subsistema de vedação pode ser constituído por diversas alternativas construtivas, unidas por materiais ligantes, com a finalidade de otimizar, dentro do limite de recursos financeiros disponíveis, as suas condições de desempenho. Destaque-se que as vedações podem ser revestidas ou não. As paredes de vedação são constituídas, basicamente, pelas unidades de alvenaria tradicional (tijolo, pedra ou bloco), sendo o seu desempenho resultante das características destes componentes e da interação entre eles; ou seja, das características de integridade do conjunto. Compete ao projetista a definição destes componentes, frente às exigências de desempenho estabelecidas para o subsistema de vedações verticais; à disponibilidade local de componentes para alvenaria; mão de obra; ferramentas e equipamentos; além das condicionantes específicas relativas aos prazos, custos e gastos de energia (SILVA, 2003; AZEREDO, 2013).

Conforme Silva (2003), devem ser relacionados, sinteticamente, os aspectos considerados relevantes às vedações e as análises quanto às propriedades dos componentes e às características locais de: resistência mecânica; estabilidade dimensional; peso; regularidade geométrica; resistência a agentes agressivos; propriedades térmicas; resistência à transmissão sonora e resistência ao fogo; características regionais e culturais; características da mão de obra; características construtivas; e custo total.

2.4. Avaliação de impacto ambiental

A finalidade de uma avaliação de impacto ambiental é fornecer aos tomadores de decisão uma avaliação de impactos de sistemas construtivos, em termos de perspectivas de curto e longo prazo, a fim de ajudá-los a determinar quais ações devem, ou não, ser realizadas, na tentativa de proporcionar à sociedade avanços em direção à sustentabilidade. Além disso, a avaliação de sustentabilidade tem o propósito de comunicar ao público os esforços e o progresso de uma organização nas dimensões econômica, ambiental e social (TELES et al., 2016).

A utilização de materiais naturais, que exijam o mínimo de processamento, traduz-se em impactos benéficos para o ambiente. As construções naturais fazem uso de materiais disponíveis no local da obra ou adjacências, utilizando tecnologias sustentáveis, de baixos custo e dispêndio energético (TEIXEIRA, 2006).

Os materiais reciclados, assim como os materiais naturais, apresentam valores baixos de energia incorporada. A energia incorporada varia consideravelmente de material para material, sendo os valores de energia expressos por unidade de massa (MJ/kg) ou por unidade de volume (MJ/m³) (SOUSA, 2010).

Os impactos dos produtos da construção, no meio ambiente, apresentam-se de diversas formas. Enquanto alguns efeitos, como a geração de poeira e barulho, durante a fase de construção, têm impactos transitórios; outros, tais como emissões de dióxido de carbono, por queima de combustíveis, podem ter impactos permanentes. A diversidade e complexidade desses impactos são de difícil caracterização, mas não são, entretanto, especificidades dos produtos da construção (KUHN, 2006).

Sattler (2002) afirma que quando se avaliam os danos determinados pela atividade construtiva, estes são normalmente classificados quanto aos seguintes aspectos: gradativo esgotamento de matérias primas; dano ecológico causado pela extração destes materiais; consumo de energia em todos os estágios de produção (incluindo transporte); consumo de água; poluição por ruídos e odores; emissões danosas, entre as quais aquelas diretamente relacionadas à redução da camada de ozônio; mudanças climáticas e chuvas ácidas; aspectos relativos à saúde humana; risco de desastres; durabilidade e manutenção; reuso e desperdícios.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa foi aplicada ao projeto para o protótipo de uma edificação, concebida para se tornar um Centro de Estudos Regenerativos e Sustentabilidade, - CERES, a ser localizada no município de Feliz, RS. Por meio da coleta de dados de referências de índices de carga ambiental, fatores de perda, cálculo de quantitativos, entre outros, foram avaliados os impactos ambientais associados ao subsistema de vedações e revestimentos da edificação em estudo. Portanto, é classificada como uma pesquisa descritiva, de caráter quantitativo, pois aborda um estudo de caso, com a estimativa de valores de cargas ambientais, comparados a uma base de referência.

O município de Feliz está situado entre os dois principais polos econômicos do Estado: a região metropolitana (80 km de Porto Alegre) e a região serrana do Estado (45

km de Caxias do Sul). A cidade possui fácil acesso e está ligada às principais rodovias estaduais e federais locais, como a RS-122, RS-240, BR-116 (IBGE, 2018).

De acordo com Sattler et al. (2003) apud Michel e Novello (2017), o CERES é definido como um local onde se poderá observar e contemplar, para se viver e aprender com a natureza no entorno da construção. Tem como objetivo a aplicação prática de pesquisas e de técnicas que considerem corretamente os critérios ambientais, que levam à sustentabilidade relacionada a diferentes contextos, sendo eles: social, político, econômico, cultural e ambiental, sempre fazendo análises, desenvolvendo e definindo as soluções de forma sistêmica, focando-se basicamente em educação e construção de conhecimentos voltados a construções mais sustentáveis.

A coleta dos dados para a realização deste estudo considerou a utilização de insumos, materiais e serviços, disponíveis e usuais no mercado, para a tipologia de obra almejada, e priorizando, sempre que possível, mitigar os impactos ambientais nos processos construtivos. De posse dos dados, foi realizada a análise dos consumos de energia gerados na produção dos materiais, com principal ênfase naqueles que consomem mais energia, e nos que não apresentam um bom desempenho. Os resultados obtidos foram comparados com os parâmetros de referência do trabalho de Kuhn (2006), entre outros autores referenciados. A partir disso, foi possível propor melhorias pontuais e fundamentadas, a fim de mitigar os impactos ambientais associados.

Os levantamentos de quantitativos e a coleta de dados foram realizados a partir da análise do projeto arquitetônico, com especial atenção nos tipos de vedação e de revestimentos propostos. Para a quantificação dos serviços, foram utilizados os coeficientes de produtividade e previstos nas composições do SINAPI (Sistema Nacional de Preços e Insumos) da Caixa Econômica Federal, que é o sistema referencial de preços da Administração Pública para execução de obras de padrão construtivo habitacional comum, e o qual considera os coeficientes usuais de mercado para os diversos tipos de insumos e serviços da construção civil. A seguir são apresentadas perspectivas gerais da edificação projetada para o CERES (Figura 1).



Figura 1 – Perspectivas em 3D do CERES

Fonte: Projeto executivo arquitetônico do CERES (2018)

4. ANÁLISES E RESULTADOS

Primeiramente, foi realizada uma análise dos materiais disponíveis no local, que fossem passíveis de utilização na construção da edificação e, posteriormente, foram avaliados os materiais que deveriam ser adquiridos, com seu respectivo levantamento de quantitativos e cálculo de energia incorporada. No sistema de vedações e revestimentos foram considerados, além das alvenarias em tijolo maciço, os pilares de tijolos maciços e os revestimentos básicos considerados necessários (por exemplo, a cerâmica, em áreas molhadas).

No Apêndice “A” consta uma tabela com o cálculo dos quantitativos, fatores e impactos ambientais gerados e quantificados para a execução do sistema de vedação e seus revestimentos, que serão explanados ao longo das análises.

Os quantitativos gerais foram expressos em massa, para cada material computado. Os coeficientes para conversão em massa foram extraídos do estudo de Kuhn (2006), exceto no que se refere à areia, para a qual foi considerada a sua massa específica, e para a conversão da pedra local (basalto) se considerou o que dispõe o estudo de Rojas et al. (2009).

Os quantitativos (em kg), para os principais materiais avaliados foram, por ordem decrescente: 40%, para tijolos maciços com espessura de 20 cm; seguido por 29%, para a pedra local; 15%, para tijolos maciços com espessura de 10 cm; 7%, para a areia; 6%, para tijolos maciços com espessura de 15 cm; 1%, para o cimento; 1%, para o revestimento cerâmico; e 1%, para a cal.

Para os fechamentos com painéis de bambu, pedras, cordwood e em madeira, pelo fato de os materiais serem disponíveis no próprio local da obra, eles não foram considerados na presente avaliação de impacto ambiental.

Cumprir informar que para o item pedra local foi considerado o basalto. Com base no projeto arquitetônico e nos materiais selecionados para utilização, foi criada uma imagem em perspectiva, contemplando a composição do subsistema de vedações e revestimentos, a qual pode ser visualizada na Figura 2.

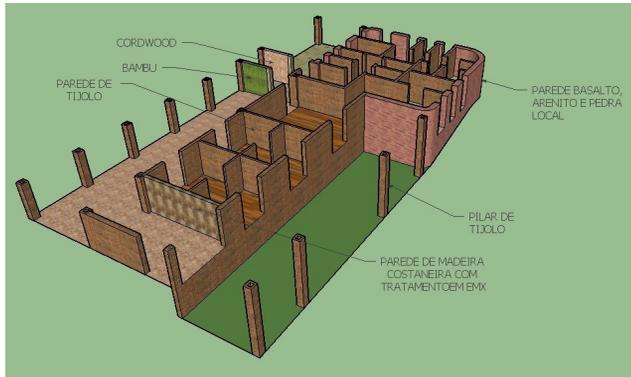


Figura 2: Perspectiva com caracterização dos diferentes tipos de vedação
Fonte: Autores, baseado no projeto arquitetônico do CERES (2018).

Quanto às perdas geradas no processo construtivo, elas se referem a um impacto ambiental importante, que pode ser minimizado por meio da otimização de processos, do melhor aproveitamento dos insumos e de um controle tecnológico durante a execução dos serviços relacionados. A minimização de perdas passa também por questões culturais, dos processos de execução utilizados pelos profissionais envolvidos diretamente em cada serviço, e envolve a conscientização e treinamento, para um melhor aproveitamento e utilização dos insumos. De qualquer modo, ainda se verificam percentuais significativos de perdas incorporados aos processos construtivos convencionais. A quantificação das perdas geradas é uma forma de demonstrar os prejuízos ambientais e econômicos decorrentes da falta de ações para mitigação deste tipo de impacto, promovendo uma maior conscientização da área técnica sobre a necessidade de atenção ao tema. Os percentuais médios de perdas mais significativos, adotados com base em literatura específica, são apresentados na Tabela 1.

Material	Perda (%)
Tijolos maciços cerâmicos	27
Cimento	17
Cal	102
Areia	14
Pedra	75
Cerâmica	10

Tabela 1: Percentuais de perda adotados para os principais materiais
Fonte: Autores, com base em estudos sobre perdas de Kuhn (2006); Pinto (1989) apud Rosa (2001); e Formoso et al. (1993) apud Kuhn (2006); e Pinto (1995) apud Zordan (2005).

Os percentuais apresentados na Tabela 1 foram aplicados sobre o quantitativo necessário de cada item para a execução do subsistema, resultando na massa de perdas de cada insumo. Na Figura 3 são apresentados os percentuais de perdas, para cada componente do subsistema, em relação ao somatório da massa total de perdas, em quilogramas. Importante diferenciar que a Tabela 1 apresenta a perda considerada para cada material, em percentual, e a Figura 3 expõe a representatividade das perdas de cada material em relação aos demais itens do subsistema. Os percentuais apresentados na Tabela 1 foram aplicados sobre o quantitativo necessário de cada item para a execução do subsistema, resultando na massa de perdas de cada insumo. Na Figura 3 são apresentados os percentuais de perdas, para cada componente do subsistema, em relação ao somatório da massa total de perdas, em quilogramas. Importante diferenciar que a Tabela 1 apresenta a perda considerada para cada material, em percentual, e a Figura 3 expõe a representatividade das perdas de cada material em relação aos demais itens do subsistema.

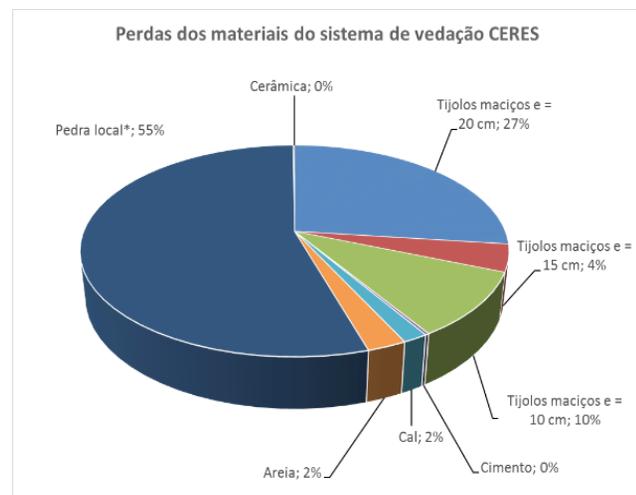


Figura 3: Perdas dos materiais do sistema de vedação e revestimentos do CERES
Fonte: Autores (2018).

Entre os materiais de construção, com uso previsto no CERES, o que mais apresenta perdas em seu consumo é a pedra local, que possui um percentual de 55%; seguido de tijolos maciços com espessura de 20 cm, com 27%; tijolos maciços com espessura de 10 cm, com 10%; tijolos maciços com espessura de 15 cm, com 4%; cal, com 2%; areia, com 2% e a cerâmica de revestimento, a qual não apresenta perda representativa no processo.

Para mitigar os impactos ambientais, apresenta-se, como uma boa prática, limitar a utilização de pedras aos quantitativos disponíveis no local da obra, tendo em vista o elevado percentual de perdas relacionado a estes

materiais, em adição a todos os impactos adicionais em sua cadeia produtiva. Para os tijolos maciços, segundo item com maior índice de perdas, o controle do processo executivo pode ser uma forma de mitigar estas ocorrências, com a otimização e o reaproveitamento das unidades utilizadas em cada alvenaria. Cuidados no processo de transporte, entrega e armazenamento deste material também poderão contribuir para diminuir quebras, danos e inutilizações das peças, diminuindo assim os impactos ambientais decorrentes das perdas deste item.

Salienta-se que a cal, por ser um produto em pó, também apresenta um percentual de perda considerável, embora o seu uso, neste caso, é em menor proporção, se comparado ao dos demais materiais. Deve-se dar atenção, para evitar perdas, principalmente no transporte que é feito por caminhões, no manuseio de carga e descarga deste tipo de material. Quando embalados, também consomem mais energia e impactam mais o meio ambiente, por isso, sempre que possível, devem ser utilizadas embalagens retornáveis.

Kuhn (2006) afirma que além dos processos industriais, outra grande fonte de emissões por consumo de energia, relacionada aos materiais de construção, é o transporte. O consumo devido ao transporte de materiais e componentes ao canteiro de obras, inserido na energia embutida direta, depende das distâncias entre os produtores e o local da edificação. Na etapa de construção, considerada pouco consumidora de energia, o transporte de trabalhadores representa a maior demanda, e o consumo dentro do canteiro de obras é variável em função do sistema e técnica construtiva adotada.

A identificação do consumo para transporte de trabalhadores e para a operação do canteiro de obras é relevante, mas conforme relata Kuhn (2006), é inviabilizada pela falta de registros previstos para a etapa de construção.

Para o cálculo da energia consumida no transporte dos materiais, foram considerados os indicadores da pesquisa de Kuhn (2006), para o caso de cargas de materiais nacionais, a utilização de veículos rodoviários usualmente é movida a diesel. Foi considerado o transporte mais severo, ou seja, levou-se em conta o consumo energético do caminhão semipesado com 3 eixos (consumo energético = $0,78 \times 10^3 \text{ MJ/kg.km}$), com o objetivo de apresentar a pior situação de impacto ambiental.

Tendo em vista que o consumo energético associado a transporte está diretamente relacionado à massa transportada e à distância percorrida, para a obtenção deste índice foi realizada pesquisa no comércio local, para obtenção da distância às principais fábricas, ou origem dos insumos a serem utilizados no subsistema de vedação e

revestimentos. O cenário de transporte utilizado foi considerado com as menores distâncias possíveis, a fim de evitar que os impactos fossem superestimados.

Em relação ao consumo energético para o transporte dos materiais empregados no sistema de vedação e revestimentos, o material que apresenta maior consumo energético é a cal, consumindo 35% de energia; seguida de tijolos maciços, de 20 cm espessura, com 22%; areia, com 21%; cerâmica, 9%; tijolos maciços, de 10 cm de espessura, com 8%; tijolos maciços de espessura 15 cm, com 3%; cimento, 2%; sendo que o consumo relativo à pedra local é insignificante, já que o material está disponível no local. A Figura 4 apresenta os percentuais do consumo energético do subsistema de vedação e revestimentos do CERES.

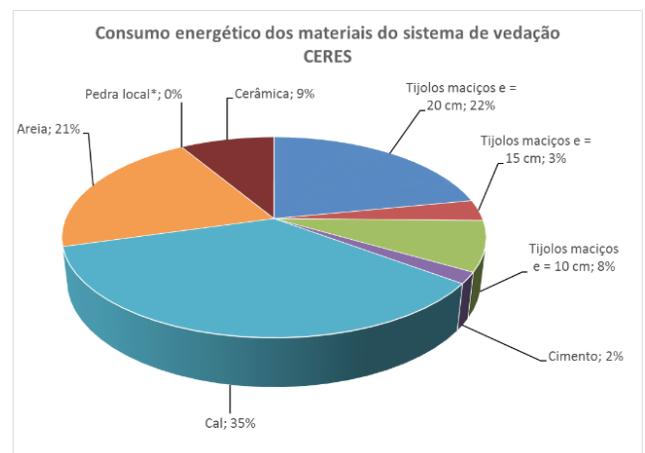


Figura 4: Consumo energético associado a transporte para o sistema de vedação e revestimentos do CERES
Fonte: Autores (2018)

A cal é o material com pior desempenho, no que se relaciona ao consumo energético para transporte. Para mitigar tal impacto ambiental, pode-se, na fase de implantação do projeto, buscar outros fornecedores de cal, mais próximos ao CERES.

No que se refere ao segundo item com maior consumo energético, o tijolo maciço, mesmo que o seu local de produção esteja próximo da obra, o consumo energético deste item se demonstra elevado devido à quantidade de material desta natureza empregada no subsistema. Uma alternativa para diminuição do consumo energético para o transporte deste material seria a utilização de materiais locais para as vedações internas, substituindo as alvenarias entre os ambientes por outros fechamentos alternativos, como coordwood ou fechamento em bambu, além dos locais já previstos em projeto para utilização destas técnicas construtivas.

A energia embutida não depende dos ocupantes da edificação. Ela está contida nos materiais e processos presentes

na edificação e, por isso, seu uso varia largamente com a técnica construtiva adotada. Já a energia operacional, não considerada neste trabalho, é dependente dos ocupantes da edificação (MILNE; REARDON, 2005 apud Kuhn 2006).

Em relação à emissão de CO₂ no transporte dos materiais do subsistema de vedação e revestimentos, os fatores de emissão de poluentes foram considerados de acordo com os identificados no Intergovernmental Panel on Climate Change (1996b) apud Kuhn (2006), conforme Tabela 2.

Fatores de emissão para veículos de carga europeu						
	NOx	CH ₄	NMV OC	CO	N ₂ O	CO ₂
Total g/km	10	0,06	1,9	9,0	0,03	770
g/kg de combustível	42	0,2	8,0	8,0	0,1	3140
g/MJ	1,0	0,006	0,2	0,9	0,003	74

Tabela 2: Fatores de emissão estimados para veículos europeus pesados de transporte de cargas, movidos a diesel
Fonte: INTERGOVERNMENTAL PANEL ONCLIMATE CHANGE (1996b) apud Kuhn (2006)

O material com maior representação na emissão de CO₂ associado a transporte é a cal, responsável por 35% das emissões; seguida pelos tijolos maciços com espessura de 20 cm, com 22%; areia, com 21%; cerâmica, com 9%; tijolos maciços com espessura de 10 cm, com 8%; tijolos maciços com espessura de 15 cm, com 3%; cimento, com 2%; sendo que o emprego da pedra local não implica em emissões de CO₂ por ser um material disponível no local, sem transporte. Os itens com maior representatividade para este impacto estão associados à sua maior distância de transporte até a obra e pelos quantitativos a eles correspondentes. A Figura 5 apresenta os percentuais de emissão de CO₂ no transporte dos materiais.

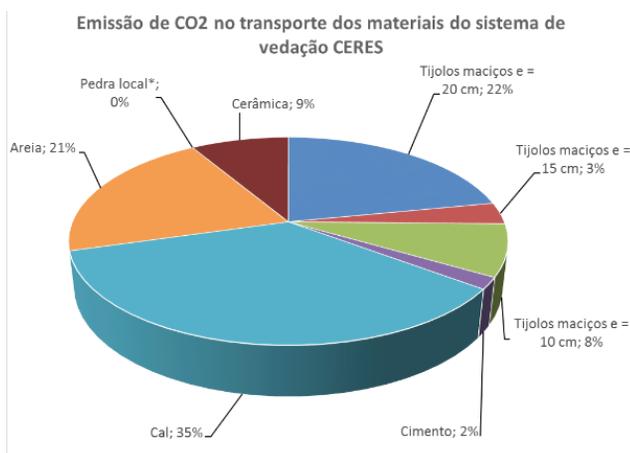


Figura 5: Emissão de CO₂ no transporte dos materiais
Fonte: Autores (2018).

A energia embutida nos processos de manufatura para o subsistema de vedação e revestimentos pode ser visualizada na Figura 6 e foi obtida a partir dos coeficientes constantes no estudo de Kuhn (2006). Os tijolos maciços com 20 cm de espessura apresentaram o maior valor de energia consumida para manufatura, representando 62% do consumo total de energia; seguido pelos tijolos maciços com 10 cm, com 23%; tijolos maciços de 15 cm, com 10%; cerâmica de revestimento, com 2%; cal, com 2%; sendo que a areia e a pedra local apresentaram um consumo de energia desprezível, em relação ao consumido pelos demais materiais.

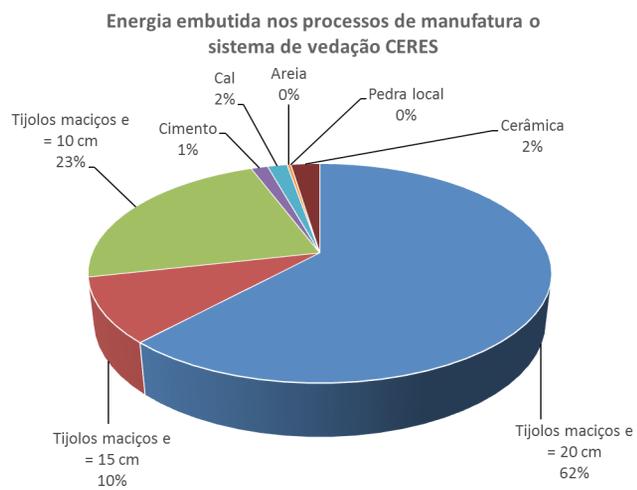


Figura 6: Energia embutida nos processos de manufatura, no subsistema de vedação e revestimentos do CERES
Fonte: Autores (2018).

O Apêndice “B” apresenta, em quadros sintéticos, o consumo de energia nos processos de manufatura, para os materiais do subsistema de vedações e revestimentos, assim como para os demais impactos e emissões avaliados neste estudo. É de se destacar o significativo consumo de energia no processo de manufatura de tijolos maciços.

Na eventual substituição dos materiais por outros, com maior energia embutida, será necessário realizar uma análise de sensibilidade, quanto aos novos materiais ou insumos que vierem a ser escolhidos, considerando os demais critérios de sustentabilidade, perfazendo uma avaliação global.

Por fim, considerando a geração de gases de efeito estufa durante os processos de manufatura, especialmente as emissões de dióxido de carbono (CO₂), foram quantificadas as emissões, em kg de CO₂, para cada um dos principais itens avaliados, com base nos coeficientes extraídos do estudo de Hammond e Jones (2008), conforme apresentado na Tabela 3.

Emissões de CO2 na manufatura dos materiais			
Material	Massa (kg)	Coefficiente unitário (kg CO2/kg)	CO2 total emitido (kg)
Tijolos maciços e = 20 cm	81895,68	0,220	18017,05
Tijolos maciços e = 15 cm	12630,52	0,220	2778,71
Tijolos maciços e = 10 cm	30108,67	0,220	6623,91
Cimento	1227,03	0,830	1018,44
Cal	1280,43	0,740	947,52
Areia	14548,82	0,005	72,74
Pedra local	59676,00	0,005	298,38
Cerâmica	1097,39	0,650	713,30

Tabela 3 – Emissão de CO2 nos processos de manufatura dos materiais do sistema de vedação do CERES
Fonte: Autores, com base nos coeficientes de Hammond e Jones (2008).

O impacto ambiental associado à manufatura dos materiais utilizados no subsistema de vedação corresponde à emissão de 30.470,05 kg de CO₂, sendo que deste montante, cerca de 90% das emissões estão relacionadas ao tijolo maciço. Assim, a utilização de sistemas alternativos de vedação auxiliaria significativamente para a redução dos impactos ambientais relacionados à manufatura dos insumos previstos no sistema de vedação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho objetivou quantificar e avaliar os impactos ambientais relacionados à execução do subsistema de vedação e respectivos revestimentos de uma edificação concebida para integrar um centro de educação ambiental, o CERES, a ser localizado no município de Feliz/RS.

Com base nos resultados obtidos, foi possível analisar que para a execução integral do subsistema de vedação e revestimentos, incluindo todos os materiais quantificados, seria necessária uma massa total de 202.464,53 kg. Se forem consideradas nas bases referenciais utilizadas para cálculo, as perdas relacionadas a cada material, o quantitativo total de massa para o subsistema de vedação aumentaria para 284.547,45 kg, o que representaria um acréscimo de 40,54%, em relação ao quantificado originalmente. Assim, verifica-se um alto impacto ambiental

gerado por decorrência de perdas no processo construtivo, demonstrando a necessidade de otimização, conscientização e melhorias nos processos de gestão e execução dos serviços relacionados aos materiais ofertados.

Por meio da pesquisa, verificou-se, também, que o consumo energético relacionado ao transporte dos insumos para o subsistema analisado geraria o total de 3.663,56 MJ, o que poderá ser reduzido com uma busca de fornecedores de insumos mais próximos à obra da edificação, ou alternativas de materiais localmente disponíveis.

Outro impacto ambiental significativo está associado à geração do total de 271.103,18 g de CO₂ no transporte de materiais. Este impacto ambiental, associado à geração de gases de efeito estufa, poderia ser reduzido, desde que diminuídas as distâncias de transporte dos materiais.

Por fim, a energia embutida total, relacionada aos processos de manufatura, geraria um total de 371.151,68 MJ, sendo que se verificou também o substancial impacto da utilização de tijolos maciços, com contribuição de 90% para a emissão do total de CO₂ dos insumos do sistema, no que diz respeito aos processos de manufatura.

Cabe, portanto, uma análise global do subsistema de vedação, em especial sobre a possibilidade de emprego de fechamentos internos que utilizem coordwood, bambu ou alternativas mais sustentáveis, de modo a diminuir o uso de tijolos maciços e argamassa, reduzindo assim os impactos relacionados à energia de manufatura e ao transporte destes itens.

Na pesquisa, pôde-se identificar os impactos ambientais de maior significância para o sistema de vedação e revestimentos do CERES, verificando-se que estes estão relacionadas às atividades impactantes de manufatura e/ou transporte. Numa análise global, destacam-se as dificuldades encontradas para obtenção de dados técnicos relativos ao consumo de energia e de recursos naturais junto às empresas fabricantes de materiais construtivos, bem como em referências mais atualizadas.

Desta forma, destaca-se a importância de projetos que empreguem materiais com um consumo reduzido de energia, assim resultando em um menor impacto ambiental em sua fase construtiva.

REFERÊNCIAS

AZEREDO, H. A. De. **O edifício até sua cobertura**. 2ª edição, Editora Blucher, São Paulo, SP. 2013.

EDWARDS, B.O **Guia Básico Para a Sustentabilidade**. Gustavo Gili edição. 2005.

FLORIM, L. C.; QUELHAS, O. L. G. **Contribuição para a construção sustentável: características de um projeto habitacional ecoeficiente**. 2006. Dissertação de mestrado em arquitetura e urbanismo, área de tecnologia. Brasília, DF.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em URL: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/feli>. Acesso em 11 jun 2018.

HAMMOND, G.; JONES, C. **Inventory of Carbon & Energy (ICE). Version 2.0**. Sustainable Energy Research Team (SERT). Department of Mechanical Engineering. University of Bath, UK. 2011.

KUHN, E. A. **Avaliação de sustentabilidade ambiental do protótipo de habitação de interesse social Alvorada**. 2006. Dissertação (Mestrado): Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, RS.

MANHÃES, G. S.; ARAÚJO, R. De S. Sustentabilidade nas construções. **Humanas Sociais & Aplicadas**, [S.l.], v. 4, n. 11, dez. 2014. ISSN 22368876. Disponível em: <http://www.seer.perspectivasonline.com.br/index.php/humanas_sociais_e_aplicadas/article/view/555>. Acesso em: 07 jun. 2018.

MICHEL, P. D. L.; NOVELLO, M. S. Caracterização e avaliação de impacto ambiental do sistema de cobertura de uma construção do CERES "residência unifamiliar" na cidade de Feliz, RS. **Trabalho da disciplina de sustentabilidade na construção**. DINTER: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Faculdade Meridional (IMED). Passo Fundo, RS, 2017.

ROJAS, J. W. J.; BASSI, M. R.; FONSECA P. A. DA; ZUCCHETTI, L.; BONATTO, F. S. Avaliação ambiental de edificação de basalto. **Anais do III Encontro de Sustentabilidade em Projeto do Vale do Itajaí**. Itajaí, SC, 2009.

ROSA, T. F.; SEDREZ, M. M.; SATTLER, M. A. Conforto ambiental em um contexto de sustentabilidade: o protótipo Alvorada. **Ciência e Ambiente: Conforto Ambiental**. Santa Maria, v. 1, n. 22, p 90-106, 2001.

SATTLER, M. A. Edificações e comunidades sustentáveis: atividades em desenvolvimento no NORIE/UFRGS Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Brasil. **Anais do IV Seminário Ibero-Americano da Rede CYTED XIV.C**. 2002.

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. Índices da Construção Civil. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em 19 jun. 2018.

SILVA, M. M. DE A. **Diretrizes para o projeto de alvenarias de vedação**. 2003. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo.

SOUSA, F. A. F. De. **Otimização de métodos de escolha de materiais com base no desempenho sustentável**. 2010. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de mestre em engenharia civil. Especialização em construções. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal.

TEIXEIRA, A. A. Painéis de bambu para habitações econômicas: Avaliação do Desempenho de Painéis Revestidos com Argamassa. **Revista Produção Online**. Florianópolis, SC. ISSN1676-1901, Vol. 5, Num. 2, junho. 2005.

TELES, C. D.; DUTRA, C. C.; RIBEIRO, J. L. D.; GUIMARÃES, L. B. DE M. Uma proposta para avaliação da sustentabilidade socioambiental utilizando suporte analítico e gráfico. **Revista Produção** [online]. 2016, vol.26, n.2 [citado 2018-06-09], pp.417-429. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132016000200417&lng=pt&nrm=iso>. Epub 08-Mar-2016.

ZORDAN, S. E. Entulho da indústria da construção civil. Reciclagem de resíduos como materiais para a construção: reciclar para construir. **Artigos técnicos: Fichas de resíduos**. São Paulo: PCC-USP, 2005.

APÊNDICE “A” - AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL DO SISTEMA DE VEDAÇÃO E SEUS REVESTIMENTOS DO PROJETO CERES, LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE FELIZ/RS

Avaliação de impacto ambiental do sistema de vedação e seus revestimentos do Projeto CERES, localizado no município de Feliz/RS																				
Item	Material/Insumo	Quantificação				Perdas			Consumo energético para transporte				Emissão de CO2 no transporte (g)					Consumo de energia nos processos de manufatura		
		Quantitativo	Unidade	Fator de conversão para peso	Peso (kg)	Perda (%)	Perda (kg)	Consumo teórico + perda (kg)	Distância (km)	Localidade	Consumo energético unitário (MJ/kg.km)	Consumo energético total (MJ)	NOx	CH4	NMVOc	CO	N2H	CO2	Energia Embutida Unitária (MJ/kg)	Energia Embutida Total (MJ)
1	Tijolos maciços e = 20 cm	38269,01	unid.	2,14	81895,68	27,00%	22111,83	104.007,51	9,90	Vale Real/RS	0,00078	803,15	803,15	4,82	160,63	722,83	2,41	59.432,80	2,21	229.856,60
2	Tijolos maciços e = 15 cm	5902,11	unid.	2,14	12630,52	27,00%	3410,24	16.040,76	9,90	Vale Real/RS	0,00078	123,87	123,87	0,74	24,77	111,48	0,37	9.166,14	2,21	35.450,08
3	Tijolos maciços e = 10 cm	14069,47	unid.	2,14	30108,67	27,00%	8129,34	38.238,01	9,90	Vale Real/RS	0,00078	295,27	295,27	1,77	59,05	265,75	0,89	21.850,27	2,21	84.506,00
4	Cimento	1227,03	kg	-	1227,03	16,77%	205,77	1.432,80	59,40	Esteio/RS	0,00078	66,38	66,38	0,40	13,28	59,75	0,20	4.912,46	3,59	5.143,76
5	Cal	1280,43	kg	-	1280,43	101,94%	1305,27	2.585,71	643,00	Colombo/PR	0,00078	1296,84	1296,84	7,78	259,37	1167,15	3,89	95.965,79	2,35	6.076,41
6	Areia	8,56	m³	1700	14548,82	14,15%	2058,66	16.607,48	58,90	Sapucaia do Sul/RS	0,00078	762,98	762,98	4,58	152,60	686,68	2,29	56.460,57	0,07	1.162,52
7	Pedra local*	19,89	m³	3000	59676,00	75,00%	44757,00	104.433,00	0,00	Feliz/RS (disponível in loco)	0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	Revestimento cerâmico	60,97	m²	18	1097,39	9,35%	104,80	1.202,19	336,00	Criciúma/SC	0,00078	315,07	315,07	1,89	63,01	283,56	0,95	23.315,15	7,45	8.956,30

APÊNDICE “B” - AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL DE CADA MATERIAL CONSTITUINTE DO SISTEMA DE VEDAÇÕES E SEUS REVESTIMENTOS DO PROJETO CERES, LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE FELIZ/RS

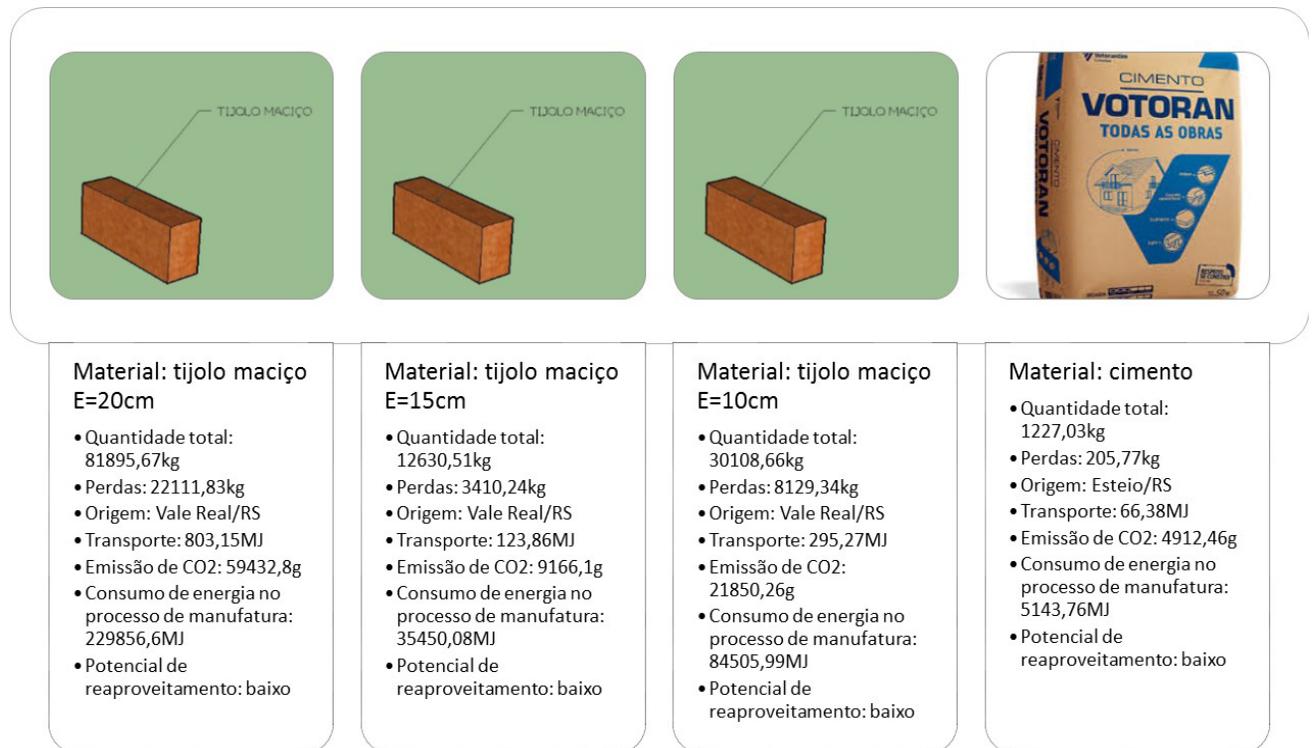


Figura 7: Contribuição de cada material constituinte do sistema (A)
 Fonte: Autores (2018)



Figura 8: Contribuição de cada material constituinte do sistema (B)
Fonte: Autores (2018)

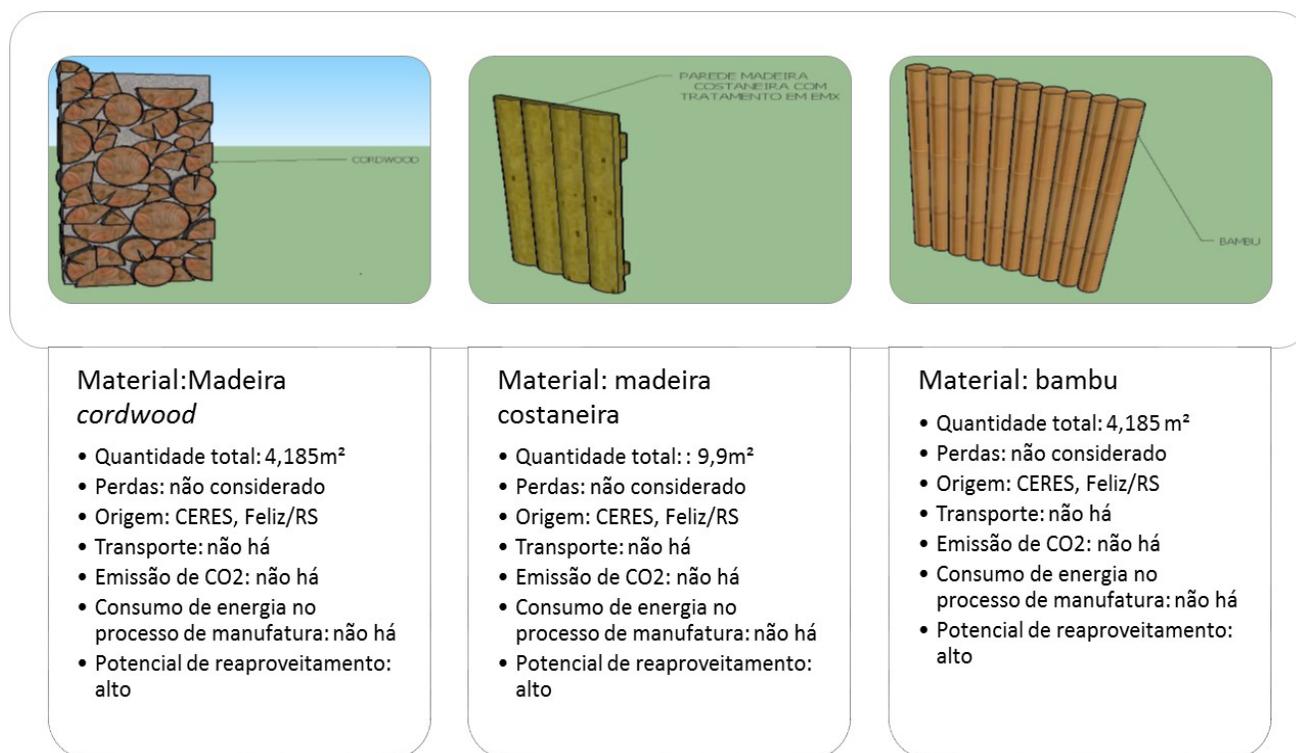


Figura 9: Contribuição de cada material constituinte do sistema (C)1i
Fonte: Autores (2018)

1 Os itens apresentados na figura 3, pelo fato de possuírem um alto potencial de reaproveitamento não foram considerados na análise dos cálculos, pois o impacto ambiental é praticamente nulo.

AUTORES

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3028-1320>

ANELISE SCHMITZ, M.Sc. Eng. | Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) | Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura (PPGCI) | Porto Alegre, RS – Brasil | Correspondência para: Av. Osvaldo Aranha, nº 99, 7º andar, sala 706, Porto Alegre - RS, 90035-190 | E-mail: anelise.schmitz@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2592-2218>

JULIANO LIBRAGA DA SILVA, Eng. Civil | Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) | Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura (PPGCI) | Porto Alegre, RS - Brasil | Correspondência para Av. Osvaldo Aranha, nº 99, 7º andar, sala 706, Porto Alegre - RS, 90035-190 | E-mail: jlibraga@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5113-4074>

MIGUEL ALOYSIO SATTLER, Ph.D. | Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) | Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura (PPGCI) | Porto Alegre, RS – Brasil | Correspondência para Av. Osvaldo Aranha, nº. 99, 7º andar, sala 706, Porto Alegre – RS, 90035-190. | E-mail: masattler@gmail.com

COMO CITAR ESTE ARTIGO

SCHMITZ, Anelise; SILVA, Juliano Libraga da; SATTLER, Miguel. Avaliação de Impactos Ambientais de uma edificação. **MIX Sustentável, [S.l.], v. 5, n. 2, p. 31-42, jun. 2019.** ISSN 24473073.. Disponível em:<<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n2.31-42>.

DATA DE ENVIO: 11/04/2019

DATA DE ACEITE: 12/04/2019