

ANÁLISE AMBIENTAL DE ALVENARIAS EM BLOCOS: UMA DISCUSSÃO BASEADA NA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E NO DESEMPENHO TÉRMICO DE ENVOLTÓRIAS

Júlia Hallack Sansão⁽¹⁾; Maria Teresa Paulino Aguilar⁽²⁾; Aline Calazans Marques⁽³⁾

(1) UFJF, e-mail: julia@juliahallack.com.br

(2) UFMG, e-mail: teresa@ufmg.br

(3) UFJF, e-mail: aline.calazans@ufjf.edu.br

Resumo

A seleção de materiais de construção que minimizem o impacto ambiental é uma das estratégias que contribuem para a eco-eficiência da edificação. A análise do ciclo de vida (ACV) se destaca como um método que auxilia na escolha de produtos sob uma perspectiva ambiental. Tal ferramenta permite a mensuração e avaliação dos impactos ambientais dos produtos dentro de limites pré-determinados e de acordo com a unidade funcional. Este trabalho se propõe a fazer uma análise ambiental de envoltórias, para uma tipologia unifamiliar, composta por painéis de blocos de concreto ou cerâmicos, com desempenhos térmicos similares. Para alcançar este objetivo, foi realizada uma avaliação do desempenho térmico das paredes externas da tipologia de referência e para a determinação de envoltórias com comportamentos térmicos similares, considerou-se, nesta pesquisa, que a resistência térmica seria suficiente para descrever o desempenho térmico. Para a compreensão do impacto ambiental utilizou-se o software de análise do ciclo de vida SimaPro 7.1.8. No caso da análise em que se desconsidera o desempenho térmico dos painéis, os resultados indicam que os ciclos de vida de envoltórias executadas com blocos cerâmicos acarretam maiores danos ambientais nas etapas primárias quando comparadas as mesmas fases dos ciclos das envoltórias em blocos de concreto. Todavia, considerando-se a etapa de uso na avaliação do impacto das envoltórias, as habitações com vedações em blocos de concreto, poderiam demandar maior consumo de energia caso os usuários solicitem equipamentos de refrigeração e aquecimento do ar para obterem mais conforto térmico. As simulações realizadas comparando os ciclos de vida de envoltórias compostas por blocos de naturezas distintas e que apresentam desempenhos térmicos similares, indicam que os painéis em blocos de concreto sempre impactam mais o meio ambiente em todos os grupos de danos: à saúde humana, ao ecossistema e aos recursos.

Palavras chaves: *Construção Civil, Envoltórias, Avaliação do Ciclo de Vida, Conforto Térmico.*

Abstract

Selecting construction materials that minimize environmental impact is a strategy that contributes to the eco-efficiency of a building. The life cycle analysis (LCA) stands out as a method that aids the choice of products from an environmental perspective. This tool allows the measurement and evaluation of products' environmental impacts within predetermined limits and according to the functional unit. This work proposes an environmental analysis of envelopes for a single family house, composed of concrete blocks or ceramic brick walls, with similar thermal performances. To achieve this goal, an evaluation of thermal performance of external walls of the reference house was carried out, and for the determination of envelopes with similar thermal behaviors it is considered that the thermal resistance would be sufficient to describe the thermal performance. The LCA software package SimaPro 7.1.8 was used to understand the environmental impact. For the analysis disregarding the thermal performance of the walls, the results indicate that the life cycles of

the envelopes carried out with ceramic blocks cause more environmental damage in the primary stages compared to the same phases of the cycles of the envelopes in concrete blocks. However when considering the operation stage in envelope impact evaluation, concrete houses would require increased energy consumption if the users requested refrigeration or heating to achieve better thermal comfort. Simulations comparing the life cycles of envelopes composed by blocks of different natures and similar thermal performances indicate that the concrete block walls have greater impact to the environment in all groups of damage: human health, ecosystem and resources.

Keywords: *Building Materials, Life Cycle Analysis, Thermal Comfort.*

1. INTRODUÇÃO

Considerando o contexto atual do desenvolvimento sustentável e o fato de que os aspectos econômicos e sócio/culturais comumente são incorporados à edificação, torna-se prioritário construções que minimizem o impacto ao meio ambiente nas etapas de concepção, construção, uso e descarte, atentando para o conforto e vida saudável dos usuários e redução dos custos ao longo da vida útil do empreendimento.

No tocante à seleção de materiais para uma construção ambientalmente mais sustentável é importante considerar o uso de matérias primas e componentes construtivos que causem menor impacto possível sobre a natureza como forma de reduzir os danos causados ao ambiente. Uma das ferramentas que possibilitam a avaliação do impacto ambiental de processo ou produto é o método de avaliação do ciclo de vida (ACV). De acordo com Sousa (2008), a ACV é uma ferramenta que proporciona uma avaliação qualitativa e produz informações que podem subsidiar a avaliação quantitativa dos danos ambientais provocados não apenas durante os processos produtivos, mas também ao longo dos demais estágios da vida do produto, como na obtenção de matérias-primas elementares e a produção de energia necessária para suprir o processo ou produto. A ACV permite uma análise comparativa considerando uma unidade funcional como objeto de estudo.

No Brasil, existem poucas pesquisas que avaliam e caracterizam os materiais de construção, segundo critérios ambientais, com dados nacionais (OLIVEIRA, 2007; TRAJANO, 2010; MASTELLA, 2002). Além desse fato, os trabalhos se limitam a análise do material ou sistema construtivo isoladamente, desconsiderando o desempenho térmico do mesmo na etapa de uso da edificação. Tal procedimento pode conduzir a uma interpretação equivocada do real impacto ambiental gerado pelo sistema construtivo escolhido. Isto pode ocorrer quando os materiais de construção analisados acarretam poucos danos ambientais nas fases de extração e produção mas solicitam de equipamentos de refrigeração e aquecimento do ar na etapa de uso, requerendo uma maior carga de energia para tornar o ambiente mais confortável para o usuário. Uma das formas de se ponderar esse aspecto é considerar como unidade funcional de um estudo de ACV, não somente a função do material que constitui a envoltória e sim de todo sistema de vedação que proporcione um conforto térmico pré-determinado.

Diante deste cenário, este trabalho se propõe a fazer uma análise ambiental de envoltórias para uma tipologia unifamiliar, em alvenaria de blocos, com desempenhos térmicos similares. A escolha de tal sistema de vedação e tipologia de referência, comumente utilizados em habitações populares, baseia-se na percepção que a ACV poderia ser muito interessante no caso das construções de interesse social. Isso ocorre devido a grande demanda deste tipo de edificação no Brasil, apresentando-se em maior quantidade, responsabilizando-se, desta forma, por uma parcela significativa do total de impactos ambientais gerados pelo setor. A análise pode contribuir também para a construção de edificações mais saudáveis do ponto de

vista do conforto do usuário e com isso apresentar ganhos indiretamente para sua saúde.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo definiu-se inicialmente que a unidade funcional a ser avaliada seria a envoltória de uma edificação que promove determinado conforto térmico. A partir desta premissa o trabalho se desenvolveu em dois momentos. O primeiro refere-se a avaliação do desempenho térmico das envoltórias e o segundo corresponde a análise dos impactos ambientais.

2.1. Definição da tipologia de referência e sistemas de vedação

O objeto de estudo desta pesquisa é uma tipologia residencial unifamiliar com aproximadamente 42 m² de área, seguindo os parâmetros do projeto padrão de casas populares da Caixa Econômica Federal normalmente executado em programas sociais. Optou-se por analisar envoltórias compostas por painéis de blocos de diferentes naturezas (concreto ou cerâmico) e larguras.

2.2. Determinação da zona de conforto

Para a avaliação do desempenho térmico das envoltórias, através da simulação computacional, foi necessário a determinação da zona de conforto. A definição desta zona se deu através dos limites térmicos estabelecidos pelo Diagrama Bioclimático de Givoni para países com clima quente e em desenvolvimento. Tal carta bioclimática, onde são identificadas as zonas, foi gerada pelo *software* Analysis Bio 2.1.5 e adaptada de acordo com a Norma 15220-3 (2005). A análise foi realizada a partir da inserção de dados climatológicos mensais da cidade de Belo Horizonte recolhidos pelo Laboratório de Conforto Térmico e Eficiência Energética da Escola de Arquitetura da UFMG (LABCON) e da utilização do banco de dados oferecido pela ferramenta computacional para a cidade de Belo Horizonte.

2.3. Escolha da estratégia de condicionamento térmico passivo

A escolha da estratégia utilizada baseou-se nas recomendações da norma NBR 15220-3 (2005) que insere a cidade de Belo Horizonte na zona bioclimática 3. Para se certificar de que as estratégias indicadas atendem as particularidades do local em estudo, foi realizada, posteriormente, uma análise da carta bioclimática adaptada de Givoni. Como o objetivo do trabalho é avaliação de materiais, determinou-se que a tipologia de referência apresentava, em todas as análises, implantação e orientação idênticas, a mesma área efetiva útil de aberturas para ventilação além da cor externa igual para os componentes, optando-se por verificar somente as estratégias relacionadas a variação da massa térmica do material da envoltória, para resfriamento e aquecimento. Tal estratégia foi aplicada neste estudo através da variação da espessura dos componentes construtivos.

2.4. Avaliação do desempenho térmico das envoltórias

A avaliação do desempenho térmico por prescrição foi realizada determinando-se os valores de resistência (R), transmitância (U), atraso térmico (ϕ), fator de ganho de calor solar (FS_o) e comparando-os com os parâmetros térmicos referentes a vedações externas, recomendados na NBR15220-3 (2005). Para determinar as resistências térmicas, utilizou-se o método de cálculo da transmitância térmica. O cálculo foi baseado nas equações descritas na NBR15220-2 (2005), que considera a condução entre camadas homogêneas e não homogêneas de material

perpendiculares ao fluxo de calor. As determinações das outras propriedades térmicas como, transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator de ganho solar também basearam-se nos métodos de cálculo descritos na NBR15220-2 (2005).

Foram calculadas as propriedades térmicas para todos os sistemas de vedação considerando as dimensões dos blocos de concreto e cerâmicos pré-estabelecidas e reboco em ambas as faces de 2 cm de espessura. A avaliação do desempenho foi realizada comparando-se os valores determinados de transmitância térmica, atraso térmico e fator de ganho solar com os parâmetros estipulados pela norma. Considerou-se que as envoltórias que apresentaram propriedades térmicas mais próximas dos parâmetros de vedações externas pesadas, atendendo a estratégia de condicionamento térmico adotada, apresentariam melhor desempenho térmico.

Para este trabalho, admitiu-se que envoltórias de mesma resistência térmica apresentam desempenhos térmicos similares. Tal premissa foi baseada no fato de que os parâmetros para verificação do desempenho térmico, fornecidos pela NBR15220-3 (2005), como transmitância, atraso térmico e fator de ganho de calor solar, dependem fortemente do valor da resistência térmica da parede. Desta forma, posteriormente, alguns valores de resistência térmica foram tomados como referência e as envoltórias que apresentaram resistências térmicas mais próximas, tiveram a espessura do seu reboco modificada para que, após submetidas ao mesmo cálculo, apresentassem desempenhos térmicos similares.

A avaliação por desempenho foi realizada de forma a validar a avaliação por prescrição, uma vez que muitos dados utilizados foram retirados da norma NBR 15220 (2005) e experimentais. Os dados referentes às dimensões da habitação, orientação solar a partir das normais das fachadas, cores, áreas de ventilação e iluminação, proteção solar das janelas, constituição do piso, paredes e cobertura, foram inseridos no *software* Arquitrop® 3.0, desenvolvido pela UFSCar. As habitações modeladas se diferenciam somente pela natureza dos blocos presentes nas envoltórias adotadas neste trabalho. Simulou-se o comportamento das tipologias nos dias 21 de junho, solstício de inverno; 22 de dezembro, solstício de verão. A envoltória que proporcionou maior quantidade de horas dentro da zona de conforto térmico e as menores temperaturas internas além de apresentar ganhos de calor inferiores no verão, possui melhor desempenho térmico.

A partir do conhecimento de quais envoltórias apresentariam comportamentos térmicos parecidos, através da avaliação do desempenho térmico por prescrição, foi possível quantificar os materiais a serem utilizados nas envoltórias de naturezas diferentes, com desempenhos térmicos similares.

2.5. Análise do ciclo de vida das envoltórias

A avaliação do ciclo de vida das envoltórias foi feita com base na norma da ABNT NBR ISO 14044 (2009): definiu-se o objetivo e o escopo, fez-se o inventário, a avaliação do impacto ambiental e interpretou-se os resultados.

Durante a primeira fase, definição do objetivo e escopo, o propósito do estudo e sua amplitude foram definidos. Na fase de Análise de Inventário, as informações sobre o produto foram levantadas e as entradas e as saídas consideradas relevantes para o sistema foram quantificadas. Executado com o auxílio do *software* Simapro®, o inventário foi realizado em duas etapas.

Primeiramente, os processos inventariados foram as produções de 1kg de bloco de concreto, 1kg de bloco cerâmico e 1kg de reboco, considerou-se as matérias-primas e energia para a

fabricação e o transporte dos mesmos até a fábrica de blocos e no caso do reboco até a obra. Na segunda etapa, referente ao inventário do produto, os dados de entrada foram: a massa de blocos e reboco a serem utilizadas em toda a envoltória do projeto de referência e o transporte da fábrica até a obra. Por falta de dados específicos não considerou-se as emissões e a geração de resíduos durante a fabricação dos blocos e montagem da envoltória. Também, devido a indisponibilidade de dados nacionais e em função do objetivo do trabalho, optou-se por utilizar dados estrangeiros referentes aos consumos e emissões, resultantes da atividade de produção e extração de matéria prima, adotando-se as bases de dados Ecoinvent v2.0, IDEMAT 2001 e ETH-ESU 96, disponíveis no *software* SimaPro. Tais dados, apesar de não corresponderem a realidade nacional, apresentam os processos que mais se aproximam dos realizados no Brasil e permitem que se visualize a importância da definição da unidade funcional.

A etapa referente a avaliação de impacto ambiental foi realizada com o auxílio do *software* SimaPro, utilizou-se o método Eco-indicator 99 v2.05. Nesta fase, os materiais foram examinados sob uma perspectiva ambiental, relacionando-se os resultados do inventário às categorias de impacto e transformando-os em resultados dos indicadores de categorias, ou ainda, em um índice ambiental único por sistema de produto avaliado. O conjunto de resultados dos indicadores constituiu o perfil da AICV (Análise do Impacto do Ciclo de Vida), fornecendo informações relativas às questões ambientais associadas aos itens de entrada e saída do sistema.

Para finalizar o estudo de ACV, foi preciso realizar a análise e interpretação de todas as constatações e resultados da AICV, confrontando-os com os objetivos e escopo estabelecidos, o que possibilitou alcançar conclusões e recomendações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Caracterização dos materiais

Os valores experimentais, condutividade e densidade, referentes ao concreto e a cerâmica são coerentes com os relatados na norma NBR15220-2 (2005). Em relação a análise dimensional, os blocos cerâmicos, ao contrário dos blocos de concreto, apresentam variação da geometria interna. Os resultados indicam que os blocos de concreto apresentam maior massa que os blocos cerâmicos, ou seja, incorporam maior quantidade de materiais para uma mesma família de blocos.

3.2. Determinação da estratégia bioclimática

Os resultados indicam que, durante todo o ano, temperaturas internas mais agradáveis podem ser obtidas através do uso de componentes construtivos com maior massa térmica. Nos meses de abril, maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro, a massa térmica superior auxiliaria no aquecimento da edificação e nos meses de janeiro, fevereiro e março, seriam responsáveis pelo resfriamento, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.

3.3. Avaliação do desempenho térmico das envoltórias

3.3.1. Avaliação por prescrição

Foram determinadas as resistências térmicas dos seis blocos e dos sistemas (reboco + bloco + argamassa) denominados paredes. Os resultados indicam que as resistências térmicas dos blocos e paredes de blocos cerâmicos, apresentaram valores superiores quando comparadas aos obtidos para os blocos e paredes de blocos de concreto.

A partir do cálculo das propriedades térmicas e da comparação dos valores encontrados para transmitância térmica, atraso térmico e fator de ganho de calor solar, com os parâmetros recomendados pela NBR 15220 (2005), pode-se concluir que as paredes de blocos cerâmicos são mais pesadas. Portanto, a maior massa térmica confere a estas paredes um melhor desempenho térmico para a região em estudo.

As resistências das paredes de bloco cerâmico de 9cm e 14 cm de largura foram tomadas como referência. Desta forma, foram realizados cálculos para verificar qual deveria ser a espessura do reboco a ser aplicado em ambas as faces do bloco de concreto de 19cm para que o material obtivesse as resistências térmicas de referência. A parede em bloco de concreto de 19 cm foi escolhida por ter sido a envoltória que apresentou maior resistência térmica com este material. A tabela 3.1 apresenta o resultado do cálculo das resistências para as paredes executadas com bloco de concreto de 19 cm e as espessuras de reboco necessárias para que obtivessem as resistências térmicas de referência.

Material	Largura (cm)	Resistência Térmica (m ² .K/W)	Espessura do Reboco
Parede de Blocos de Concreto	19	0,410	4 cm em ambas as faces
Parede de Blocos de Concreto	19	0,487	8,35 cm em ambas as faces

Tabela 1 – Espessura do reboco em ambas as faces para paredes de blocos de concreto de 19cm com resistência térmica pré-estabelecida .

3.3.2. Avaliação por desempenho

A análise do desempenho térmico baseou-se na comparação do comportamento de envoltórias de blocos cerâmicos e de blocos de concreto de mesmas dimensões. Os dados simulados no *software* Arqitrop® 3.0 foram plotados sob a forma de dois tipos de gráfico. Os gráficos de distribuição horária de temperatura de bulbo seco (TBS) no solstício de verão e no solstício de inverno apresentam as temperaturas internas e externas ao longo dos dias. Nos gráficos de distribuição do fluxo térmico, as cargas térmicas obtidas através dos meios opacos (alvenarias das fachadas e cobertura), das áreas envidraçadas e ventilação são apresentadas de hora em hora ao longo do período diurno e de duas em duas horas no período noturno. Desta forma, observa-se quais componentes construtivos proporcionam maior ou menor ganho de calor para a habitação e comparando-se o comportamento das envoltórias de blocos cerâmicos e a de blocos de concreto, qual apresenta melhor desempenho térmico.

Os resultados validam a avaliação por prescrição, visto que, a envoltória de blocos cerâmicos apresentou maior quantidade de horas dentro da zona de conforto térmico, as menores temperaturas internas no verão além de proporcionar ganhos de calor inferiores no solstício de verão. Portanto, as envoltórias de blocos cerâmicos possuem melhor desempenho térmico.

3.4. Avaliação do ciclo de vida

3.4.1. Definição do objetivo e do escopo

O objetivo da análise do ciclo de vida nesta pesquisa foi avaliar o impacto ambiental de materiais de construção comumente utilizados em envoltórias de edificações de interesse social e comparar os resultados dos sistemas que apresentam desempenhos térmicos similares, tomando-se como base inventários pesquisados na literatura científica, dados existentes no *software* e informações fornecidas pelas indústrias. Foram realizadas análises simultâneas considerando duas unidades funcionais denominadas UF1 e UF2. UF1 é a envoltória de uma tipologia residencial de 42 m² implantada em Belo Horizonte, no bairro Pampulha e a UF2 é o desempenho térmico da mesma envoltória situada no mesmo local.

Como fronteiras do sistema foi estipulado a abrangência da extração da matéria prima até o transporte do produto ao local de implantação da edificação.

3.4.2. Inventário

O inventário referente à fase de extração de matéria prima foi fornecido pelo banco de dados Ecoinvent, IDEMAT 2001 e ETH-ESU 96 existentes no *software* SimaPro. No entanto, a quantificação de entradas e saídas de materiais, energia e emissões referentes ao transporte das mesmas até as fábricas, a etapa de produção dos blocos e ao transporte dos produtos até obra foi realizada a partir de dados fornecidos pelas fábricas produtoras e complementados pela literatura (GAMA, 2010; MASTELLA, 2002; TRAJANO, 2010; SOARES *et al.*, 2004). Os bancos de dados estrangeiros foram escolhidos e adaptados em função dos processos e matérias-primas mais próximos a realidade nacional.

3.4.3. Avaliação de impacto

A simulação considerando a unidade funcional UF1, avaliou seis sistemas de vedações iguais, em blocos de 9, 14 e 19cm de largura, mesmos comprimentos e alturas, revestidos em ambos os lados com reboco de 2 cm de espessura. Os resultados referentes a avaliação utilizando a unidade funcional UF2, analisou quatro envoltórias que, em pares, apresentaram o mesmo desempenho térmico. Desta forma, as envoltórias de blocos cerâmicos de 9 cm de largura, com reboco de 2 cm (em ambos os lados) e as de blocos de concreto de 19 cm de largura, com reboco de 4 cm (em ambos os lados) possuem desempenho térmico 1 (D1). Envelopes construtivos de blocos cerâmicos de 14 cm de largura, com reboco de 2 cm (em ambos os lados) e as de blocos de concreto de 19cm de largura, com reboco de 8,35 cm (em ambos os lados) possuem desempenho térmico 2 (D2).

3.4.4. Interpretação

A comparação das simulações dos impactos ambientais dos sistemas de vedação, tomando-se como unidade funcional a envoltória de uma tipologia residencial, de 42 m², situada em Belo Horizonte, indicam que os ciclos de vida das vedações em blocos cerâmicos apresentam maiores danos ambientais. Os resultados demonstram que estes materiais liberam uma quantidade considerável de substâncias inorgânicas respiráveis e de gases responsáveis pelas mudanças climáticas. Conforme ilustrado na figura 3.1, os ciclos de vida dos envelopes construtivos com blocos cerâmicos apresentam maiores pesos ambientais nos grupos de danos à saúde humana e a qualidades dos ecossistemas. De acordo com a análise da rede de processos de fabricação do bloco cerâmico, durante a fase do inventário, a justificativa para

este fato deve-se as emissões atmosféricas liberadas durante a queima do produto por ser o processo que apresenta maior carga ambiental durante a fabricação do material.

Os ciclos de vida das envoltórias em blocos de concreto apresentam um peso ambiental superior referente à extração de combustíveis fósseis. Como verificado nos dados de entrada relacionados ao processo de fabricação de 1kg de bloco de concreto e à montagem da envoltória com este componente construtivo, foi possível concluir que é utilizado uma maior diversidade e quantidade em massa de recursos naturais como brita, areia e cimento nestes processos, acarretando maior impacto ambiental para o grupo de danos referente a extração de recursos naturais.

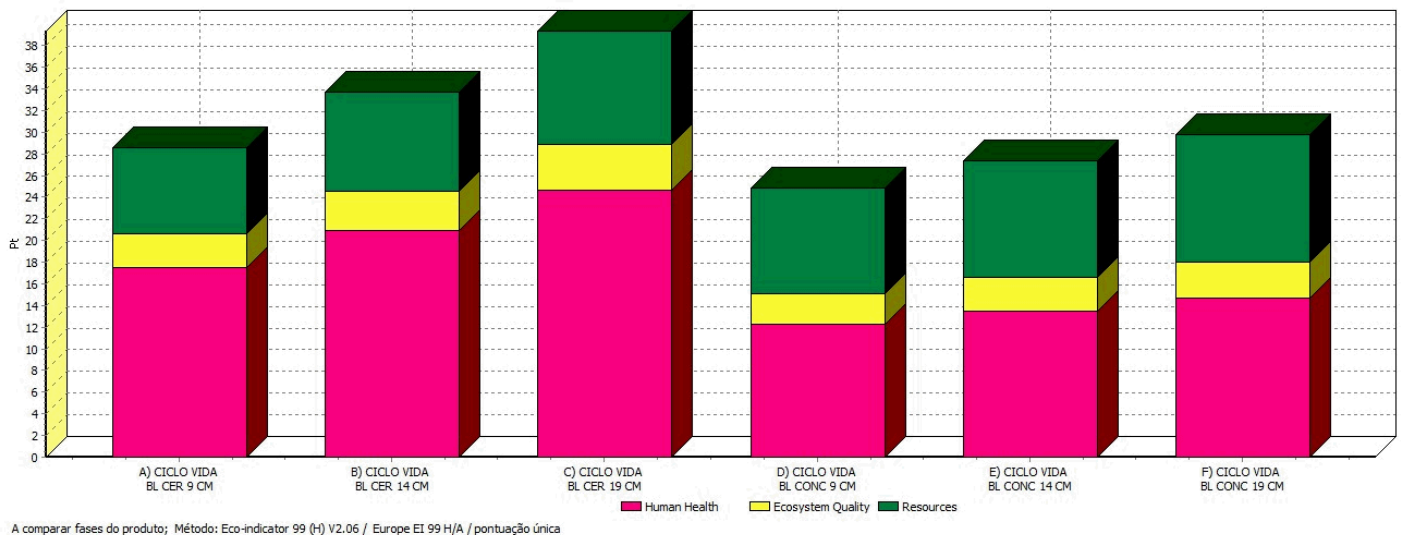


Figura 1 – Comparação das pontuações únicas dos ciclos de vida das envoltórias considerando UF1

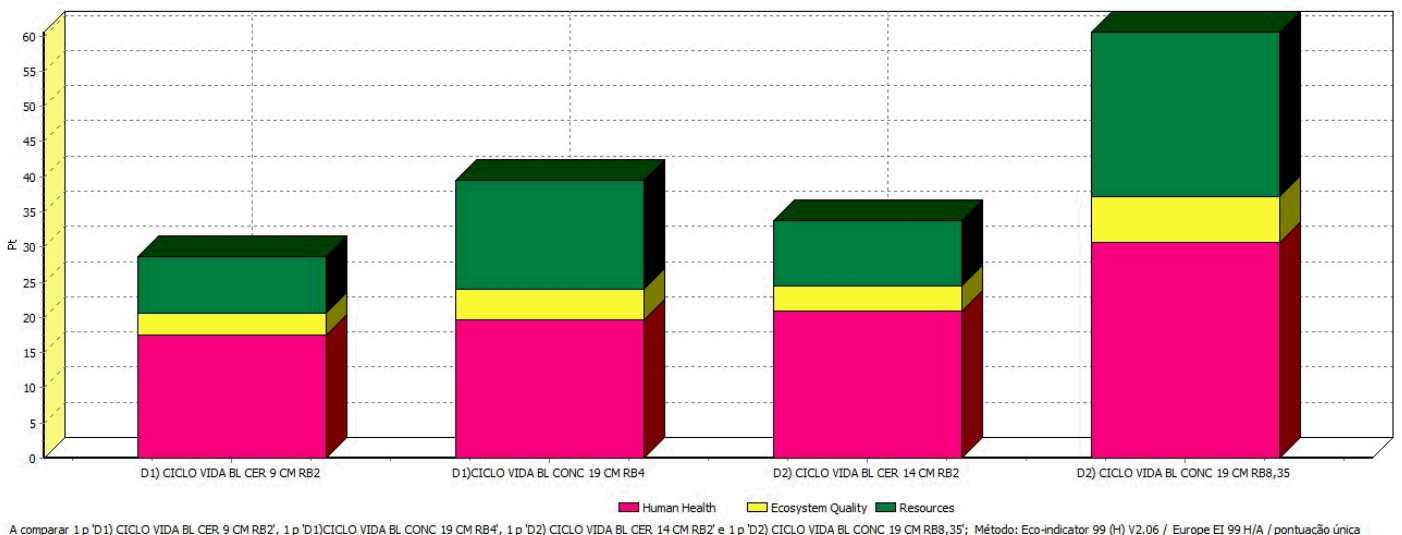


Figura 2 – Comparação das pontuações únicas dos ciclos de vida das envoltórias considerando UF2

As análises comparativas dos ciclos de vida de envoltórias, considerando como unidade funcional o desempenho térmico do sistema de vedação de uma tipologia residencial, de 42m², situada em Belo Horizonte, indicaram que os painéis de vedação em blocos de

concreto, sempre acarretam maiores danos em todos os grupos de impacto, como verificado na figura 3.2. A quantidade de massa de reboco, necessária para aumentar a massa térmica destas envoltórias, foi a responsável por este resultado, principalmente pela presença do processo de produção de cimento que apresenta alta carga ambiental e pelo crescimento expressivo da utilização de recursos extraídos da natureza para sua fabricação conforme verificado na rede do processo de fabricação do material.

4. CONCLUSÕES

A comparação das simulações dos impactos ambientais dos sistemas de vedação, tomando-se como unidade funcional a envoltória de uma tipologia residencial, situada em Belo Horizonte, indica que os ciclos de vida das vedações em blocos cerâmicos apresentam maiores danos ambientais em consequência das emissões atmosféricas liberadas durante o processo de queima presente na etapa de fabricação das peças.

As análises comparativas dos ciclos de vida de envoltórias, considerando como unidade funcional o desempenho térmico do sistema de vedação de uma tipologia residencial situada em Belo Horizonte, indicaram que os painéis de vedação em blocos de concreto, sempre acarretam maiores danos em todos os grupos de impacto. A quantidade de massa de reboco, necessária para aumentar a massa térmica destas envoltórias, foi a responsável por este resultado, principalmente pela presença do processo de produção de cimento que apresenta alta carga ambiental e pelo crescimento expressivo da utilização de recursos extraídos da natureza para sua fabricação.

Considerando os resultados descritos acima, pode-se inferir que o mais adequado é a utilização de envoltórias compostas por painéis de blocos cerâmicos, pois o impacto ambiental verificado ao longo da vida útil da habitação será menor. Tal afirmativa se baseia na hipótese que em uma moradia de baixo conforto térmico para o usuário, haverá necessidade de instalação de ventiladores, refrigeradores e aquecedores de ar, demandando maior consumo de energia ao longo dos anos de vida útil da edificação, além dos impactos ambientais embutidos nos ciclos de vida de cada equipamento.

De forma mais ampla, os resultados mostram que a avaliação dos impactos ambientais de materiais de construção e sistemas construtivos ao longo de seus ciclos de vida devem apresentar um limite de pesquisa mais amplo, abrangendo a fase de uso dos mesmos e consequentemente evitando interpretações errôneas do ponto de vista ambiental. A inclusão da análise do desempenho térmico das envoltórias na pesquisa, permitiu enquadrá-la dentro de uma das estratégias necessárias para uma mais construção sustentável e analisar os danos ambientais gerados por uma falha na seleção dos materiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **15220**: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14044**: Gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientação. Rio de Janeiro, 2009.

MASTELLA, D. V. **Comparação entre os processos de produção de blocos cerâmicos e de concreto para alvenaria estrutural, através da análise do ciclo de vida**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. 107p.

OLIVEIRA, A. S. **Análise ambiental da viabilidade de seleção de produtos da construção civil através da**

ACV e do software BEES 3.0. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. 118p.

SOUSA, S.R. **Normalização de Critérios Ambientais Aplicados à Avaliação do Ciclo de Vida.** Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. 87p.

TRAJANO, L. **Avaliação do ciclo de vida dos produtos derivados do cimento para habitações de interesse social.** 2010. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2010. 98p.