

VOLVER AL ÍNDICE

## RELAÇÃO ENTRE DENSIDADE DE PAREDE E ENERGIA INCORPORADA EM PROJETOS DE EHIS

Renata Postay (rpostay@gmail.com); Andrea Parisi Kern (apkern@unisinós.br)

UNISINÓS, programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - São Leopoldo, RS, Brazil

**Palavras chave:** Densidade de parede, Habitação de Interesse Social, Energia Incorporada.

*A construção civil se caracteriza por consumir grande quantia de matérias primas e energia. Onde o segmento residencial é muito expressivo utilizando o equivalente ao comercial e público juntos, em todas as fontes de energia, envolvendo desde a energia para a produção de materiais e componentes como na fase de uso. Importante então considerar a escala do segmento de empreendimentos de habitação de interesse social (EHIS), que, no Brasil, teve impulso significativo com o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Assim, ações voltadas à economia e otimização da construção, desde a fase de concepção são muito oportunas e o projeto tem papel crucial como indutor da racionalização da construção. O objetivo do estudo é investigar a relação entre o índice de densidade de parede com energia incorporada em EHIS. A pesquisa analisou cinco projetos de edifícios do PMCMV propostos em alvenaria estrutural com blocos de concreto, subdividida em três etapas: (1) quantificação dos materiais dos projetos; (2) análise da energia incorporada (EI) através de dados de literatura e do software CES Selector; (3) verificação da relação entre densidade de parede com consumo de EI. Os resultados indicam que, para mesma área, decisões quanto à arquitetura tem influência direta no consumo de materiais e impacto relacionado. Onde apresenta-se uma relação direta: quanto menor o índice de densidade de parede, menor consumo de materiais e energia incorporada, com diferenças em torno de 20%, considerando o edifício com menor e maior densidade de parede.*

### 1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem como característica o elevado consumo de energia e insumos, os autores Tavares (2006), Lobo et al. (2010) e Torgal e Jalali (2010) apontam que aproximadamente 40% da energia consumida mundialmente é para suprir demandas do setor, que consome mais matérias-primas do que qualquer outra atividade econômica, por volta de 3000 Mt/ano (quase 50% do total em massa), com elevada extração de matérias-primas não renováveis (TORRAL; JALALI, 2010).

Como minimizar a necessidade de materiais no setor? A questão dos materiais de construção e a demanda da redução da utilização de energia operacional em edifícios devem estar lado a lado, pois ambas tem importância significativa (BERGE, 2009). Assim, reduzir resíduos e impactos ambientais são preocupações atuais do setor da construção civil, que tem como desafio construir mais usando menos materiais (WEINSTOCK, 2000; AGOPYAN; JOHN, 2011).

Na produção do ambiente construído o projeto atua como protagonista, nesta fase o produto é concebido, são feitas as especificações de materiais, de sistemas e do desempenho esperado. Assim, o projeto atua como elemento indutor da racionalização da construção, da qualidade do produto final e de sua sustentabilidade. Comparando-se a outras indústrias a construção civil demorou a adotar uma conscientização, mas está começando a incorporar uma postura mais proativas em relação ao meio ambiente e à sustentabilidade (CARVALHO; SPOSTO, 2012).

Ao analisar os empreendimentos de habitação de interesse social (EHIS), Brandão (2006) aponta a necessidade de mais estudos aplicados na fase de projeto dos empreendimentos.

O que vai de encontro a Neto, Moreira e Schussel (2012) que destacam a prevalência da lógica de mercado na política habitacional brasileira em detrimento da qualidade dos projetos, onde interesses econômicos se sobrepõem ao atendimento das necessidades básicas da população. Scheidt et al. (2010) ainda salientam que pouco se aborda sobre requisitos ambientais neste padrão de empreendimentos, um segmento altamente aquecido nos últimos anos no Brasil por força de políticas do Governo Federal.

A construção dos EHIS, segundo Silva (2012), em pesquisa aplicada a região metropolitana de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul, num total de 98 estudos de caso, tem como sistema construtivo predominante a alvenaria portante de blocos cerâmicos ou de concreto em 81,63% dos casos.

Desta forma, é importante então considerar a escala do segmento de EHIS, que, no Brasil, teve impulso significativo com o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), empreendimentos que são alvo deste estudo. Neste contexto, o objetivo do presente artigo é investigar a relação entre o índice de densidade de parede com energia incorporada em EHIS.

### 1.1. Energia Incorporada (EI)

A Energia incorporada (EI) pode ser definida como o montante energético utilizado para a produção de determinado produto, incluindo desde as etapas de extração, sua distribuição no mercado até sua destinação final (GAUZIN-MÜLLER, 2002). Outra definição é que inclui a energia usada durante a fabricação, envolvendo todo o processo de obtenção das matérias-primas, refino, processamento, e várias fases de transporte, até o produto acabado no portão da fábrica (BERGE, 2009). Além disso, a EI pode ser vista como um parâmetro de comparação para balizar materiais em termos ambientais (ABEYSUNDARA et al., 2009 apud Bissoli-Dalvi et al., 2013).

Considerando todo o ciclo de vida da edificação, a EI dos materiais de construção e processos a eles relacionados (como transporte) pode significar entre 30% a 50% nos casos avaliados por Tavares (2006) e Paulsen e Sposto (2013) verificaram que, pelo menos, 30% da energia do ciclo de vida se refere à energia incorporada.

Estudo realizado em EHIS, expõem que aproximadamente 60% da energia incorporada inicial é devido a construção de paredes, incluindo os blocos, neste caso cerâmicos, argamassa e pintura. Assim, os autores propõem haver neste elemento o maior potencial de melhoria para reduzir a EI da construção na sua fase pré-operacional, possibilitando alternativas de melhorar o desempenho como a escolha de materiais e elementos com menor EI (SPOSTO; PAULSEN, 2014).

### 1.2. Densidade de Parede (Dp)

A variável densidade de parede (Dp) é definida como a divisão da área das paredes apoiadas sobre uma laje-tipo pela área desta laje, ou seja, a área ocupada pelas paredes sobre a área total do pavimento tipo (OLIVEIRA; LANTELME; FORMOSO, 1995). Desta forma é definida como a projeção das paredes e apresenta o grau de otimização da compartimentação do pavimento (SILVA Jr., 2010)

O índice Dp é apresentado na Equação 1.

$$Dp = \frac{A_p}{A_{pavt}} \quad (1)$$

Onde:

- Dp: densidade de parede

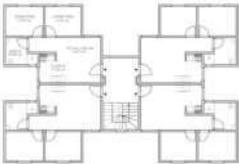
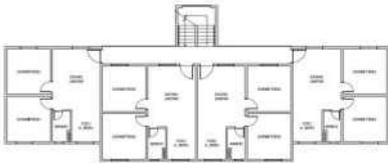
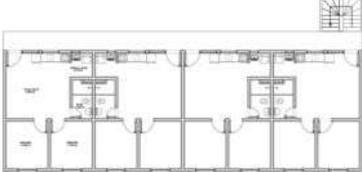
- *Ap*: área de projeção das paredes internas e externas do pavimento tipo da edificação ( $m^2$ )  
Ou seja, o perímetro das paredes multiplicado pela espessura da parede, sem descontar os vãos das aberturas (portas e janelas)
- *Apavt*: área total do pavimento tipo ( $m^2$ )

## 2. MÉTODO DE PESQUISA

Como estratégia de pesquisa foi adotado o estudo de caso com dados reais de projetos de EHIS, tendo como objeto cinco projetos aqui denominados P1, P2, P3, P4 e P5, que podem ser visualizados na Tabela 1 que apresenta: a planta baixa do pavimento tipo (projeto arquitetônico), área do pavimento tipo e o índice de densidade de parede (calculado a partir da Equação 1).

A escolha dos projetos se deu por dois motivos principais: (a) semelhanças em termos de áreas construídas e programa da unidade habitacional (dois quartos, sala, cozinha e banheiro); (b) diferenças em termos de forma arquitetônica. Outro fator considerado foi a disponibilidade por parte das construtoras e Caixa Econômica Federal de dados, ou seja, quantitativos, projetos e memorial descritivo. O projeto P1 foi construído na cidade de São Leopoldo (estado do Rio Grande do Sul) e P2, P3 e P4 na cidade do Rio de Janeiro (estado do Rio de Janeiro), já o P5, é um projeto proposto por Schneck (2013), todos com 4 andares.

Tabela 1. Síntese dos Projetos

Projeto	Planta baixa do pav. tipo (sem escala)	Área pavimento tipo ( $m^2$ )	Densidade de parede
P1		204,00 $m^2$	0,1386
P2		209,40 $m^2$	0,1254
P3		204,57 $m^2$	0,1202
P4		209,78 $m^2$	0,1197
P5		Tipo: 204,00 $m^2$	0,1112

## 2.1. Etapa de pesquisa 1: quantificação dos materiais dos projetos

Após a seleção dos projetos e verificação da densidade de parede de cada um deles, iniciou-se a modelagem dos projetos no *software Revit* (Autodesk), programa com a tecnologia BIM (*Building Information Modeling*), a fim de obter a quantificação dos materiais necessários para a construção de cada projeto. Os projetos e informações para o desenvolvimento do P2, P3 e P4 foram disponibilizados pela Caixa Econômica Federal, já de P1 e P5 foram obtidos na pesquisa de Schneck (2013). Gerando assim uma lista preliminar de materiais e seus respectivos quantitativos em diferentes unidades (massa, área, volume, comprimento).

Para os cinco projetos padronizou-se o sistema construtivo adotando alvenaria estrutural com blocos de concreto (blocos com dimensões de 14x19x39 cm - 8 MPa) e lajes de concreto moldado no local, uma vez que esta alternativa tem sido amplamente utilizada em EHS no Brasil. Outras características definidas como comuns a todos os projetos: altura de pé-direito de 2,60 m; piso em todo o pavimento do edifício, exceto na circulação vertical; telhado com cobertura de telha de fibrocimento ondulada, com 2 águas e mesma inclinação; forro de PVC nos banheiros.

Com base nessa lista preliminar, se estruturou uma nova lista de materiais organizada de acordo com as etapas de obra, tendo como parâmetro o orçamento do P1, disponibilizado pela empresa construtora e extraído da pesquisa de Schneck (2013), onde consta as seguintes etapas de construção e partes do edifício incluídas na quantificação dos materiais: 1. Serviços preliminares; 2. Estrutura; 3. Alvenarias; 4. Acabamento de parede; 5. Esquadrias; 6. Cobertura e proteções; 7. Pisos; 8. Instalações; 9. Pintura e 10. Serviços complementares. Onde, as quantidades foram padronizadas para massa, tendo como unidade de medida o quilograma (kg) a fim de viabilizar a etapa seguinte da pesquisa. Como os blocos foram referenciados por unidade, a conversão para quilograma foi baseada na mediana de massa proposta por (Oliveira, 2015).

Para os materiais os quais não se obteve as quantidades a partir da modelagem dos projetos no *software Revit*, foram extrapoladas comparações com quantitativo de P1. Para os serviços preliminares, infraestrutura e escada foram adotados os mesmos valores para os 5 projetos, tendo como base os valores do P1. Materiais relacionados a janelas, portas e instalações (hidráulicas e elétricas) não foram contabilizados, uma vez que não mudam por causa da forma arquitetônica, permanecendo como uma constante para projetos estudados.

A partir da obtenção do consumo de massa de insumos dos cinco projetos os resultados foram relacionados com o índice de densidade de parede, resultante das decisões de projeto.

## 2.2. Etapa de pesquisa 2: análise de impacto ambiental - energia incorporada (EI)

A energia incorporada foi analisada pelo *software CES Selector*, incluindo duas etapas pertencentes à fase pré-operacional dos edifícios: (a) extração, produção e transporte de matérias-primas; b) Fabricação de materiais e componentes de construção. O transporte de materiais e componentes para o canteiro de obras, bem como a operação, manutenção e desconstrução dos edifícios não pertencem ao escopo deste trabalho.

Além da utilização do banco de dados do *software*, foram incluídos materiais considerados locais (areia, bloco de concreto e tintas), com especificações mais características da construção Brasileira, por meio do Módulo "*Construtor*". Os dados destes materiais foram inseridos com referência dos inventários de IE de Tavares (2006), Lobo (2010) e especificamente para os blocos de concreto dados de Oliveira (2015) e Oliveira, Pacca e John (2016), uma vez que seus parâmetros são de 29 fabricantes brasileiros de blocos de concreto. Quanto aos blocos optou-se em trabalhar com os dados de EI máximas (M) e

mínimas (m) devido a ampla variação dos dados apresentados pelos autores, justificada pela variação do consumo de cimento em cada bloco podendo chegar em até 2,7 vezes entre os blocos analisados e não o teor de clínquer como era a hipótese inicial dos autores. Vale destacar que não são considerados outros fatores de análise no estudo como desempenho acústico e térmico entre os blocos analisados devido a variação de EI máxima e mínima.

A EI dos projetos foi quantificada na totalidade das etapas de obra apresentadas na etapa anterior, porém por ser o foco do estudo as paredes, os dados apresentados serão específicos deste sistema.

### 2.3. Etapa de pesquisa 3: verificação da relação entre densidade de parede com EI

Após a obtenção da EI dos cinco projetos os resultados foram relacionados com o índice de densidade de parede, assim como já feito anteriormente com o consumo de materiais.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A apresentação dos resultados estrutura-se em 3 itens de acordo com as etapas da método de pesquisa.

### 3.1. Quantificação dos materiais dos projetos

A Figura 1 demonstra o consumo de materiais dos cinco projetos analisados, destacando-se na análise as paredes por ser o foco do estudo, incluindo blocos de concreto, argamassa de assentamento e argamassa de revestimento (ambos compostos por cimento Portland, areia e cal) e os materiais restantes. Devido aos projetos analisados terem uma área bruta muito similar, assim aqui entendida como uma constante, os resultados do consumo dos materiais em termos de massa foram indexados por  $m^2$  ( $kg/m^2$ ).

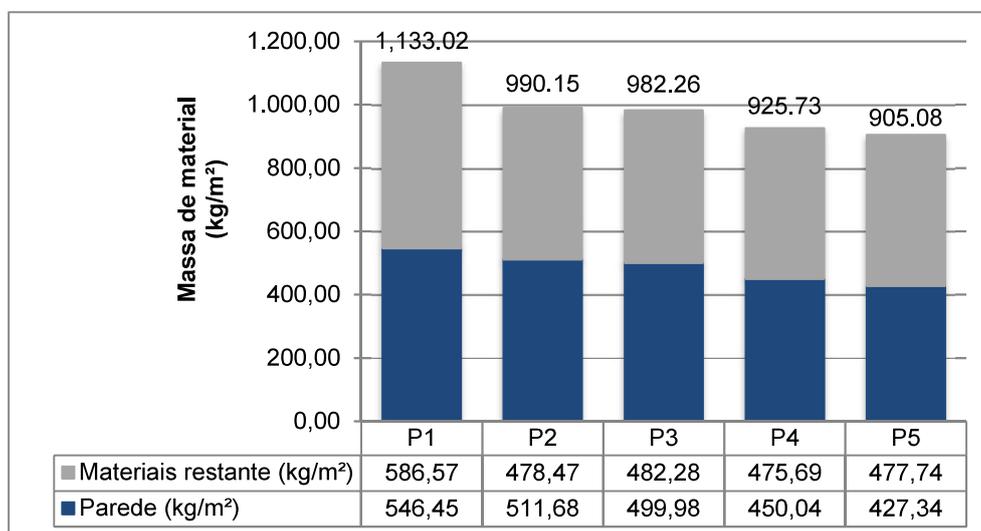


Figura 1. Consumo de material em termos de  $kg/m^2$  de materiais de parede e materiais restantes

No aspecto consumo de materiais é possível observar (Figura 1) que os componentes relacionados às paredes representam aproximadamente 50% da massa e quanto ao consumo total de material, a diferença de massa entre P1 e P5 fica em torno de 20%.

A seguir, a Figura 2 ilustra a correlação entre o índice de densidade de parede de cada um dos cinco projetos e suas respectivas massas de materiais ( $kg/m^2$ ), apresentando o consumo de material das paredes e do edifício (parede + materiais restantes).

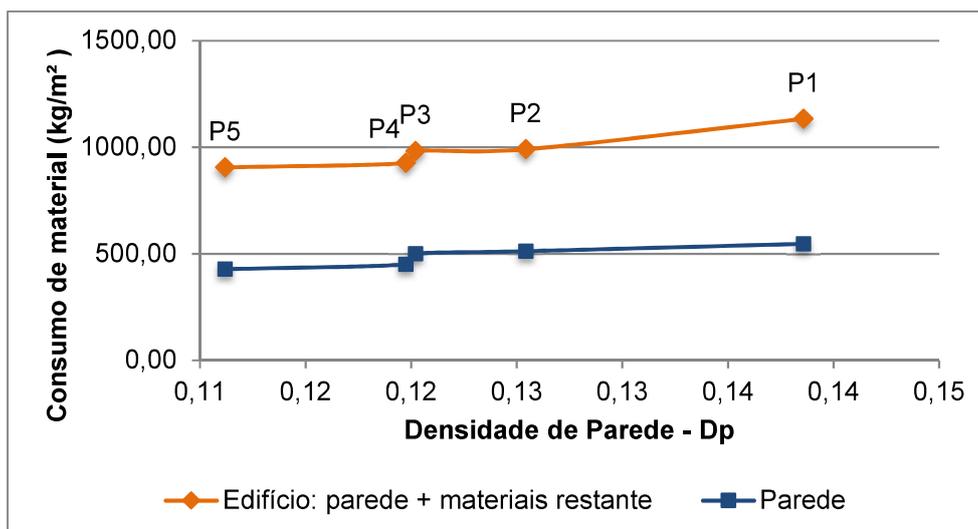


Figura 2. Relação entre consumo de material (kg / m<sup>2</sup>) x Densidade de parede

A relação entre consumo de material versus densidade de parede demonstra a influência das decisões de projeto, onde uma edificação com a mesma área, mesmo programa (neste caso, quatro apartamentos de dois quartos por pavimento) e igual sistema construtivo têm massa de material diferente. Tal variação evidencia que quanto menor a densidade das paredes menor a massa de materiais total da edificação (Figura 2). Os resultados mostram que de P1 para P5, a densidade de parede reduziu 20% e o consumo de material teve o mesmo decréscimo (20%) quando se analisa apenas o sistema parede e 22% no que corresponde o edifício.

### 3.2. Análise da energia incorporada (EI)

A Figura 3 apresenta a estimativa da energia incorporada (MJ/m<sup>2</sup>) devido à produção do material dos cinco projetos materiais referentes ao sistema de parede (blocos de concreto, argamassa de assentamento e argamassa de revestimento). São considerados dois cenários para cada projeto em relação a EI dos bloco de concreto: bloco com impacto máximo (M) e bloco com impacto mínimo (m); ambos blocos com dados de energia incorporada de Oliveira (2015).

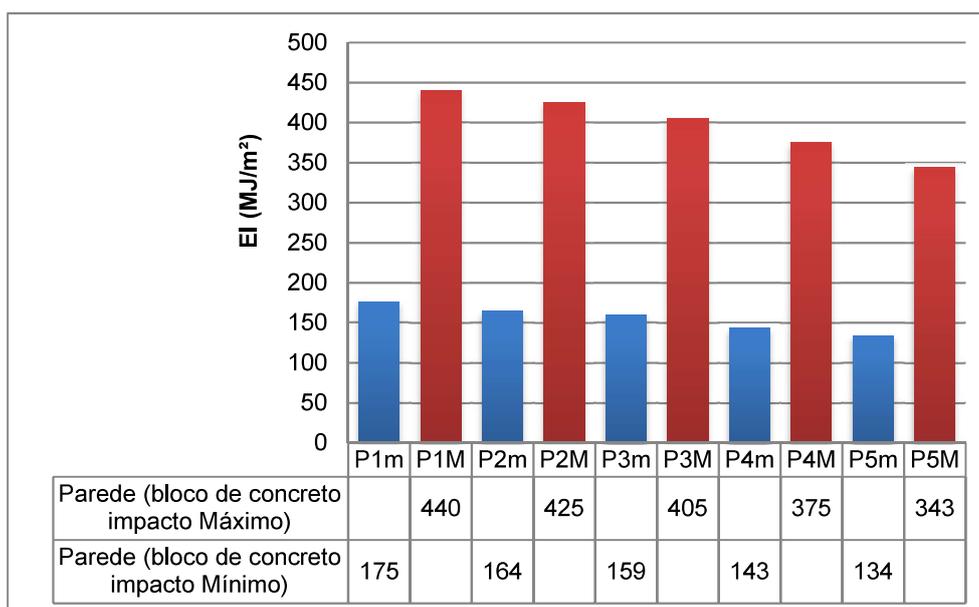


Figura 3. Energia incorporada (MJ/m<sup>2</sup>) de materiais de parede (Máximo e mínimo)

Conforme ilustrado na Figura 3, visualiza-se um mesmo comportamento em relação a redução de EI comparando-se P5 (projeto com menor índice de densidade de parede) ao P1 com o mesmo tipo de bloco, onde tem-se a redução de EI. Porém, ao comparar os mesmos projetos usando blocos de impacto mínimo (m) comparado aos mesmos projetos com blocos de impacto máximo (M) visualiza-se significativa diferença de energia incorporada da parede. Ao comparar os cinco projetos com blocos de mesmo padrão de impacto, a redução de energia incorporada entre P1 e P5 é de cerca de 22% (P1m - P5m; P1M - P5M) e aproximadamente 70% quando se compara P1M e P5m.

Na Figura 4 é apresentado o gráfico com a relação entre o índice de densidade de parede dos 5 projetos e a respectiva energia incorporada em MJ / m<sup>2</sup>.

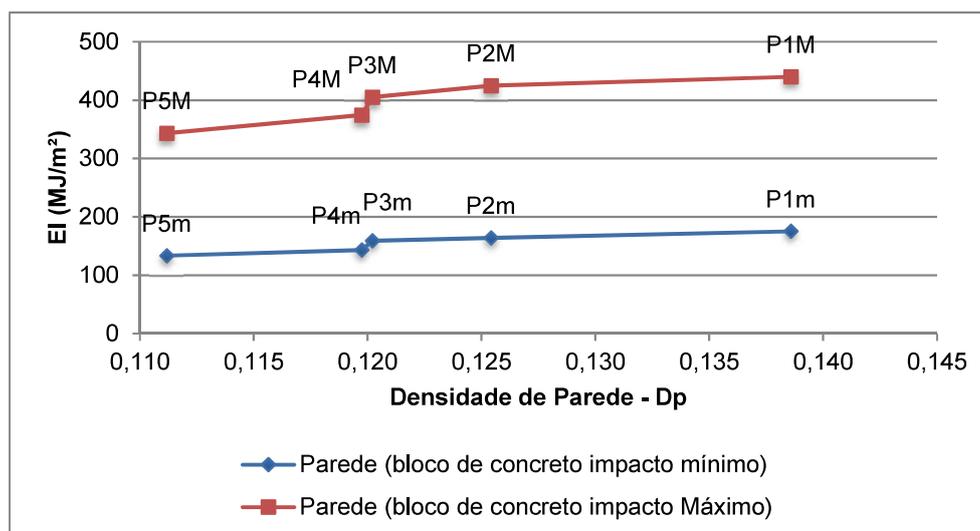


Figura 4. Relação entre densidade de parede e energia incorporada (MJ / m<sup>2</sup>) de materiais de parede (impacto máximo e mínimo)

Conforme apresentado na figura (Figura 4), fica claro uma relação entre o índice de densidade de parede e a energia incorporada dos projetos quanto as paredes. Quanto menor o índice de Dp menor energia incorporada das paredes que compõem o projeto. O que também já foi apresentado na Figura 2 que demonstra que quanto menor Dp menor consumo de materiais do projeto tanto quando se analisa somente as paredes como no edifício como um todo. Ressalta-se apenas que não foi alvo do estudo a possível influência da variação da densidade de parede e massa de material entre os projetos a outros fatores como transmitância térmica, que impacta na sustentabilidade. Também reforçar que não é objeto desta pesquisa outros fatores de análise como desempenho acústico e térmico entre os blocos analisados devido a variação de EI Máxima e mínima.

Isso demonstra a importância das decisões de projeto em relação ao impacto ambiental, considerando-se o aspecto aqui analisado que é a energia incorporada, dentro do escopo estudado e sem representar redução de área do pavimento tipo. Outra consideração que vale ser ressaltada é a importância na escolha de materiais e fornecedores, optando-se por insumos produzidos por processos de produção mais eficientes.

#### 4. CONCLUSÃO

Considerando-se os cinco projetos estudados, observou-se uma correlação entre a redução do índice de densidade de parede com a redução de consumo de materiais de construção (tendo como parâmetro os projetos completos dos EHIS) e quando analisado os insumos referentes as paredes (incluindo blocos de concreto, argamassa de assentamento e argamassa de revestimento), também obteve-se redução da energia incorporada do sistema das paredes. A redução de energia incorporada foi verificada tanto com dados dos blocos de

concreto de impacto mínimo como máximo de pesquisa de base de dados nacional, porém com considerável variação em termos de energia total. Os resultados dos projetos estudados apresentaram redução entre o projeto com menor e maior Dp de aproximadamente 20% em termos de consumo de material, 22% em energia incorporada (quando considerado mesmo padrão de impacto do bloco) podendo chegar a 70% (na comparação entre bloco de impacto mínimo e máximo).

Desta forma, tem-se dois aspectos importantes que este artigo sugere, em primeiro uma tendência de que com mesma área de projeto podem ser trabalhadas alternativas em termos de composição de planta baixa que geram maior ou menor impacto ambiental, dependendo da densidade de parede da edificação. Onde, ações voltadas à economia e otimização da construção incorporadas desde a fase de concepção são muito oportunas. O outro aspecto sugerido é a busca pela mitigação de consumo de EI com o desenvolvimento de novos materiais ou pela racionalização do processo de produção visando menores impactos, tendo em vista a grande variação como no caso dos blocos de concretos nos dados utilizados para este estudo.

Assim, evidencia-se o desafio da indústria da construção civil quanto a incorporação de questões ambientais no escopo de seus projetos e no pensamento dos profissionais envolvidos, sejam arquitetos, construtores, fornecedores ou pesquisadores do setor.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agopyan, V.; John, V. M. (2011). *O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil*. São Paulo: Blucher, 5 v.
- Berge, B. (2009). *Resources*. In: Berge, B. *The ecology of building materials - Second edition*. USA: Architectural Press - Elsevier Science, p. 3-28.
- Bissoli-Dalvi, M. et al. (2013). *Sistematização de indicadores de sustentabilidade como ferramenta auxiliar ao projetista na seleção dos materiais de construção*. *Arquitetura Revista*, São Leopoldo, v. 9, n. 2, p. 99-111.
- Brandão, D. Q. (2006). *Avaliação da qualidade de arranjos espaciais de apartamentos baseada em aspectos morfo-topológicos e variáveis geométricas que influenciam na racionalização construtiva*. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 6, n. 3, p. 53-67.
- Carvalho, M. T. M.; Sposto, R. M. (2012). *Metodologia para avaliação da sustentabilidade de habitações de interesse social com foco no projeto*. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 207-225.
- Gauzin-Müller, D. (2002). *Arquitectura ecológica*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Lobo, F. H. R. (2010). *Inventário de emissão equivalente de dióxido de carbono e energia embutida na composição de serviços em obras públicas: Estudo de caso no Estado do Paraná*. 2010. 212 f. *Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil*, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Lobo, F. H. R.; Santos, A. P. L.; Tavares, S. F. (2010). *Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial*, Florianópolis, v. 2, n. 2, p. 26-43.
- Neto, P. N.; Moreira, T. A.; Schussel, Z. G. L. (2012). *Conceitos divergentes para políticas convergentes: descompassos entre a política nacional de habitação e o Programa Minha Casa, Minha Vida*. *Revista Brasileira Estudos Urbanos e Regionais*, Niterói, v. 14, n. 1, p. 85-98.
- Oliveira, L. S. (2015). *Avaliação do ciclo de vida de blocos de concreto do mercado brasileiro: alvenaria e pavimentação*. *Dissertação*. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Oliveira, L. S., Pacca, S. A., John, V. M. (2016). *Variability in the life cycle of concrete block CO<sub>2</sub> emissions and cumulative energy demand in the Brazilian Market*. 114, 588-594.
- Oliveira, M.; Lantelme, E.; Formoso, C.T. (1995). *Sistema de Indicadores de Qualidade e Produtividade para a Construção Civil: Manual de Utilização*. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 149p.

- Paulsen, J. S.; Sposto, R. M. (2013). *A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program "My House My Life"*. *Energy and Buildings*, n. 57, p. 95-102.
- Scheidt, F. S. S. et al. (2010). *Consideração de requisitos ambientais em empreendimentos habitacionais de interesse social: um estudo de caso*. *Ambiente Construído, Porto Alegre*, v. 10, n. 1, p. 91-106.
- Schneck, E. R. (2013). *Tipo arquitetônico em empreendimentos habitacionais de interesse social: impactos ambientais, diferenças no custo e em quesitos de habitabilidade*. 2013. 168 f. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo*.
- SILVA JR., N. L. (2010). *Indicadores de desempenho em projetos de arquitetura no eixo Brasília-Goiânia*. 2010. 113 f. *Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília*.
- Silva, L. P. (2012). *Análise do ciclo de vida energético de habitações de interesse social*. 2012. 185 f. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre*.
- Sposto, R. M.; Paulsen, J. S. (2014). *Energia incorporada em habitação de interesse social na fase pré-uso: o caso do Programa Minha Casa Minha Vida no Brasil*. *Revista Oculum Ensaios, Campinas*, v. 11, n. 1, p. 39-50.
- Tavares, S. F. (2006). *Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras*. 2006. 225 f. *Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis*.
- Torgal, F. P.; Jalali, S. (2010). *Introdução*. In: Torgal, F. P.; Jalali, S. *A sustentabilidade dos materiais de construção*. Vila Verde, Portugal: Gráfica Vilaverdense, p. 9-40.
- Weinstock, G. (2000). *Agenda 21 para a Construção Sustentável. Relatório CIB – Publicação 237, Novembro*.

## 6. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do RS (FAPERGS). Os autores também agradecem todas as empresas de construção que contribuíram com informações.