

# ESTUDO DA ENERGIA CONSUMIDA NA ETAPA DE CANTEIRO DE OBRAS EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS: ESTUDO DE CASO

Aline Silva Sauer ([alinesisa@hotmail.com](mailto:alinesisa@hotmail.com)); <mailto:João Luiz Calmon>  
([calmonbarcelona@gmail.com](mailto:calmonbarcelona@gmail.com))

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) - Brazil

**Palavras chave:** Energia, Canteiro de obras, Edifício residencial multifamiliar.

*A avaliação do consumo energético das edificações é uma importante ferramenta para gestão dos impactos ambientais no setor da construção civil, pois a geração e o consumo de energia contribuem para uma grande parcela destes impactos. Dependendo do objetivo da avaliação pode-se analisar a energia consumida durante todo o ciclo de vida da edificação ou por cada etapa deste ciclo. A fase de uso é responsável pela maior parte do consumo energético de um edifício e, por isso, muitas pesquisas sobre esta fase foram desenvolvidas, levando a um campo aberto para pesquisas na fase pré-uso, visando a redução do consumo de energia global. Neste contexto, observa-se a carência de estudos ligados a etapa de canteiro de obras, tendo em vista que a maioria dos trabalhos consideram baixa a contribuição desta fase, negligenciando estes dados. Porém, alguns autores relatam que em nível regional estes dados podem revelar-se significativos. Assim, esta pesquisa buscou levantar o consumo de energia na fase pré-uso, considerando apenas a etapa de canteiro de obras, de três edifícios implantados na Região Metropolitana da Grande Vitória, Espírito Santo - Brasil. Devido a indisponibilidade de dados, este artigo mostra um estudo preliminar que incluiu somente a eletricidade consumida pelos equipamentos e instalações temporárias usadas no local. A coleta de dados foi realizada através de um questionário enviado a empresas construtoras associadas ao Sindicato da Indústria da Construção Civil deste estado. Como resultado observou-se que, como em estudos anteriores, a contribuição desta etapa pode ser considerada menos significativa que as outras etapas do ciclo de vida da edificação e que as diferenças regionais, o processo construtivo e o fator transporte são parâmetros importantes para uma avaliação energética da etapa de canteiro de obras.*

## 1. INTRODUÇÃO

Qualquer atividade humana, independentemente de suas características, provoca impactos ao meio ambiente, tornando necessária a busca por produtos ambientalmente menos agressivos. Neste contexto, diversas convenções internacionais passaram a definir metas ambientais, mas foi a Agenda 21, publicada em 1992 no Rio de Janeiro (Brasil), o marco da integração dos aspectos ambientais em políticas de desenvolvimento. Nessa busca diversas ferramentas para analisar e minimizar os impactos ambientais foram desenvolvidas e estudos vem analisando os impactos relacionados principalmente ao consumo de energia, tendo em vista sua grande contribuição nas emissões e mudanças climáticas.

A avaliação dos encargos ambientais associados a um produto, processo ou atividade, identificando e quantificando os usos de energia, material e emissões para o meio ambiente durante cada etapa do ciclo de vida, pode fornecer subsídios para melhoria do produto ou processo avaliado, planejamento estratégico, marketing e elaboração de políticas públicas (SPOSTO; PAULSEN, 2014; CHAU; LEUNG; NG, 2015). Considerando o edifício um produto único (não produzido em série), a análise completa dos impactos gerados ao longo do ciclo de vida é um processo complexo. Logo, alguns autores indicam a aplicação de

processos mais simples como a avaliação separada por recurso consumido, tipo de carga ambiental liberada ou considerando cada uma das fases deste ciclo (Figura 1), possibilitando identificar de forma mais rápida os principais impactos e suas origens (CHAU; LEUNG; NG, 2015; CHASTAS; THEODOSIOU; BIKAS, 2016), além da contribuição de cada processo ou etapa.



Figura 1. Fluxograma - fases do ciclo de vida de uma edificação, principais recursos consumidos e cargas ambientais liberadas, Adaptado de CHAU; LEUNG; NG, 2015.

A partir de uma avaliação energética, os estágios de alta demanda de energia são identificados mais facilmente, levando a melhoria do processo, reduzindo o consumo energético e emissões de gases de efeito de estufa (KARIMPOUR et al., 2014). Paulsen e Sposto (2013) relatam que esta simplificação é eficaz porque é a produção de energia que gera a maior parte das emissões e usa a maioria dos recursos não renováveis. Além disso, no último século a população cresceu rapidamente, junto com um aumento na expectativa de vida e uso de energia per capita, logo a demanda de energia no ambiente construído deve ser direcionada para evitar maior degradação do ambiente natural (RAUF; CRAWFORD, 2015).

O setor da construção civil representa quase 40% do consumo mundial de energia, 30% do uso de matérias-primas e 33% das emissões globais (DEVI; PALANIAPPAN, 2014; CHAU; LEUNG; NG, 2015). No Brasil, cerca de 44% da energia elétrica e 75% dos recursos naturais são consumidos pela indústria da construção civil (SPOSTO; PAULSEN, 2014). Por conta do alto consumo energético na fase de operação de um edifício, o desenvolvimento tecnológico caminha no sentido de aperfeiçoar os equipamentos domésticos, assim como uma maior utilização da bioarquitetura. Com isso, há uma tendência de aumento da representatividade da energia consumida na fase de pré-uso, abrindo um campo para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de métodos e processos construtivos nesta fase (SILVA, 2012).

Entretanto, nota-se a carência de estudos sobre o consumo energético ligado a indústria de processos, ou seja, na etapa de construção do edifício, energia consumida no canteiro de obras. A maioria dos estudos que avaliam o consumo global de energia por edifícios negligenciam os dados de construção no local, alegando que a contribuição desta fase é baixa se comparada as demais (ZENG; CHINI, 2017). Contudo, ressalta-se que grande parte destas pesquisas foram realizadas em locais onde a construção é predominantemente industrializada, e este fato deve ser considerado em estudos para a realidade brasileira.

Assim, o objetivo deste estudo foi levantar o consumo de energia na fase pré-uso, considerando apenas a etapa de canteiro de obras, em edificações residenciais multifamiliares na Região Metropolitana da Grande Vitória – RMGV. No entanto, devido a indisponibilidade de dados fornecidos pelas construtoras, este é um estudo preliminar no qual incluiu-se somente a eletricidade consumida diretamente pelos equipamentos e instalações temporárias no local, sendo que o fator transporte dos trabalhadores até a obra e o consumo de óleo diesel ou gasolina dos equipamentos não foram considerados neste momento da pesquisa. Além disso, através da comparação com outros estudos, avaliou-se se estes dados realmente podem ser negligenciados, considerando a realidade brasileira.

## 2. AVALIAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO EM EDIFICAÇÕES

A avaliação do consumo de energia de uma edificação pode ser realizada através da Avaliação do Ciclo de Vida Energético, que é baseada na metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida da série de normas ISO 14040 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, 2006), utilizando apenas a energia como indicador de impacto ambiental, sendo considerada uma versão simplificada desta metodologia. Esta avaliação considera todas as entradas de energia de uma edificação no seu ciclo de vida ou em cada etapa, incluindo as seguintes fases: pré-uso, uso e pós-uso (SPOSTO; PAULSEN, 2014; CHAU; LEUNG; NG, 2015). Estas entradas de energia podem ser representadas matematicamente pela equação 1 (CHAU; LEUNG; NG, 2015):

$$E = E_{\text{Extração}} + E_{\text{Produção}} + E_{\text{Transporte}} + E_{\text{Construção in loco}} + E_{\text{Operação}} + E_{\text{Demolição}} + E_{\text{Reciclagem}} + E_{\text{Disposição final}} \quad (1)$$

Em que, E representa a entrada total de energia do ciclo de vida e  $E_{(x)}$  representam as entradas energéticas de cada fase do ciclo de vida da edificação.

O consumo deste recurso ainda pode ser classificado em três componentes: (i) energia incorporada, soma da energia consumida para a extração de matéria prima, fabricação dos materiais, transporte destes e construção da edificação - energia incorporada inicial - e da energia consumida em reparos e readequações na fase de uso e operação do edifício - energia incorporada recorrente; (ii) energia operacional, consumida no uso da edificação; (iii) energia de demolição, usada na desconstrução da edificação e transporte dos resíduos, incluindo a eventual reciclagem dos materiais (SILVA, 2012; SPOSTO; PAULSEN, 2014; ZINA et al., 2016). A tabela 1 mostra esta divisão.

Tabela 1. Fases do ciclo de vida das edificações e suas respectivas entradas energéticas.

FASE	COMPONENTE	SIGLA	DESCRIÇÃO DA ETAPA/PROCESSO
Pré-uso	Energia Incorporada Inicial	$E_{\text{Extração}}$	Prospecção, fabricação e transporte de insumos
		$E_{\text{Produção}}$	Fabricação dos materiais de construção
		$E_{\text{Transporte}}$	Transporte dos materiais de construção
		$E_{\text{Construção in loco}}$	Energia consumida por equipamentos na obra
			Transporte dos trabalhadores até a obra
		$E_{\text{Desperdício}}$	Desperdício de materiais
Transporte do desperdício			
Uso	Energia operacional	$E_{\text{Operação}}$	Energia consumida para climatizar, equipamentos eletrodomésticos e para cocção de alimentos
	Energia Incorporada Recorrente	$E_{\text{Manutenção}}$	Reposição de materiais em reparos e readequações
Pós-uso	Energia de demolição	$E_{\text{Demolição}}$	Demolição e remoção dos resíduos
		$E_{\text{Reciclagem}}$	Beneficiamento dos resíduos (reciclagem)
		$E_{\text{Disposição final}}$	Transporte do material demolido - aterro sanitário

Fonte: Adaptado de Tavares (2006).

Ao se considerar o ciclo completo (pré-uso, uso e pós uso), esta avaliação é denominada do berço ao túmulo. Contudo, a definição do limite depende dos motivos para realizar o estudo e das possíveis aplicações dos resultados. Logo, de acordo com o objetivo e escopo definidos pode-se considerar apenas parte deste ciclo, reduzindo o limite e os processos a serem incluídos, como mostra a figura 2 (ISO, 2006; SPOSTO; PAULSEN, 2014).

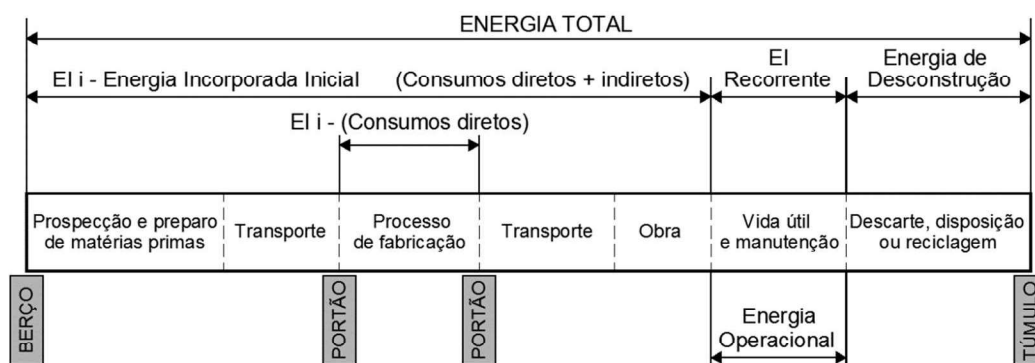


Figura 2. Possíveis limites para uma avaliação energética, Adaptado de TAVARES (2006).

Segundo Silva (2012) e Cabeza et al. (2014), a fase operacional de um edifício é identificada por consumir grande quantidade de energia - de 60 a 98% do consumo total - variando com o tipo de edificação e o tempo de vida útil adotado. Como consequência disso e devido à grande complexidade da avaliação de edifícios, o impacto relativo a energia incorporada é constantemente ignorado nas pesquisas gerando uma baixa disponibilidade de dados desta fase (KOFOWOROLA; GHEEWALA, 2009; BIRGISDOTTIR et al., 2017; GIORDANO et al., 2017). A adoção de materiais de construção alternativos, de um projeto eficiente e de novos métodos de construção, dando ênfase a pré-fabricação de elementos construtivos, são estratégias que ajudariam na redução do consumo de energia incorporada, sendo o uso de materiais de baixa energia incorporada, considerando o potencial de reciclagem, a mais estudada (KARIMPOUR et al., 2014; STEPHAN; STEPHAN, 2016; ZHANG; WANG, 2016).

No entanto, a implementação de políticas de eficiência energética aumentou a demanda por edifícios de baixa energia e, neste caso, a energia incorporada pode contribuir com até metade do consumo de energia total (STEPHAN; CRAWFORD; MYTTENAERE, 2013). Por isso, o foco vem se deslocando para a fase pré-uso, visando o equilíbrio energético e a real redução do consumo de energia ao longo do ciclo de vida da edificação (CABEZA et al., 2014; KARIMPOUR et al., 2014; CHASTAS; THEODOSIOU; BIKAS, 2016; DEVI; PALANIAPPAN, 2017; GIORDANO et al., 2017). Para Kofoworola e Gheewala (2009), Asdrubali, Baldassarri e Fthenakis (2013) e Chastas, Theodosiou e Bikas (2016), o aumento da representatividade da energia incorporada indica a necessidade de acrescentar esta análise a estrutura das atuais regulamentações de eficiência energética. Neste contexto, diretrizes que incluem energia e emissões incorporadas as principais regulamentações vem sendo desenvolvidas através do Anexo 57 da Agência Internacional de Energia (DEVI; PALANIAPPAN, 2017; BIRGISDOTTIR et al, 2017; MALMQVIST et al, 2018).

Embora a energia incorporada constitua apenas de 10 a 20% da energia total consumida por uma edificação, a sua redução não deve ser ignorada (RAMESH; PRAKASH; SHUKLA, 2010; SILVA, 2012; CABEZA et al., 2014). A contribuição desta fase depende da vida útil determinada, tipo de edifício e de energia ou tecnologia empregada, além da localização e clima da região onde o edifício está inserido, pois os padrões de uso e demandas são diferentes e, com isso, a relevância desta contribuição também (DEVI; PALANIAPPAN, 2014; KARIMPOUR et al., 2014, CHAU; LEUNG; NG, 2015; RAUF; CRAWFORD, 2015; DIXIT, 2017; AZARI; ABBASABADI, 2018).

Segundo Anderson, Wulforth e Lang (2015), as pesquisas nesta fase se concentram em estudos sobre materiais alternativos, recicláveis ou reciclados, e materiais estruturais - o concreto é o material mais pesquisado devido sua alta demanda energética - sendo a fase de construção no local a menos pesquisada tendo em vista seu pequeno impacto. Contudo, apesar da construção no local contribuir com uma pequena parcela – menos que 5% da energia incorporada inicial – esta fase provoca impactos cruciais no consumo de materiais e desempenho da edificação (ZHANG; WANG, 2016). Tavares (2006) relata que, variando de

5 a 10% da energia incorporada inicial, a energia consumida na etapa da obra é pouco estudada no Brasil. Logo, embora esse estágio não represente uma alta porcentagem durante o ciclo de vida de um edifício, pequenas mudanças podem fazer uma diferença substancial no impacto (MALMQVIST et al., 2018).

Para Stephan e Stephan (2016), se o consumo energético incorporado e o consumo para transporte - associado à mobilidade dos usuários - forem considerados em conjunto com o consumo para operação dos edifícios, o setor de construção seria considerado o principal consumidor de energia e emissor de gases de efeito estufa. Complementando, Silva (2012) afirma que a energia consumida nas fases de pré-uso e pós-uso não podem mais ser negligenciadas, pois com o aperfeiçoamento das edificações, a energia incorporada passa a ser significativa frente à energia de operação.

A fase pré-uso abrange toda energia consumida até a execução do edifício, incluindo a energia utilizada na fase de produção - energia indireta - e a fase de construção no local - energia direta (DEVI; PALANIAPPAN, 2014; GIORDANO et al., 2017). A energia direta compreende a energia usada no transporte de recursos humanos, materiais, para operar instalações temporárias e para atividades com uso de equipamentos no local, incluindo escavação, concretagem, elevadores de carga, máquinas de corte, guindaste de torre, uso de água, geração de resíduos e eletricidade (DEVI; PALANIAPPAN, 2014). Para Devi e Palaniappan (2017), a indústria da construção nos países em desenvolvimento se direciona à mecanização para reduzir a duração do tempo de obra e, para isso, máquinas pesadas são implantadas para melhorar o desempenho geral da construção, aumentando assim o consumo energético desta etapa.

Alguns trabalhos estimam este consumo a partir de entrevistas e levantamento nos canteiros de obras, outros estimam o consumo dos equipamentos a partir das horas trabalhadas para cada atividade e atribuem fatores de consumo por equipamento utilizado. Pode-se também estimar através da norma NBR 1271, que indica valores do consumo de energia elétrica em equipamentos por metro quadrado de área construída para cálculo do Custo Unitário Básico da construção (TAVARES, 2006; DEVI; PALANIAPPAN, 2014).

Cabeza et al. (2014) destaca que os efeitos da etapa de canteiro de obras, quando analisados em nível regional, podem revelar-se significativos. Aliás, os diferentes métodos de construção podem influenciar o consumo energético e, conseqüentemente, a tomada de decisão quanto a escolha do método (ROH et al., 2017). Entretanto, a maioria dos estudos que avaliam o consumo de energia nas edificações negligenciam os dados de construção no local, alegando que a contribuição desta fase é baixa se comparada as demais (ZENG; CHINI, 2017).

Das pesquisas analisadas neste artigo, apenas Tavares (2006), Kofoworola; Gheewala (2009), Silva (2012), Devi; Palaniappan (2014 e 2017), Su; Zhang (2016), Stephan; Stephan (2016) e Zhang; Wang (2016) consideraram a etapa de construção no local na avaliação energética global do edifício. No entanto, Stephan; Stephan (2016) apenas citam e não deixam claro a parcela da energia consumida relativa a esta etapa da fase pré-uso. Devi; Palaniappan (2017) analisaram o consumo energético relativo à apenas uma parte da fase de construção no local, a etapa de movimentação de terra - incluindo serviços de escavação e transporte de terra - alegando ser esta uma das principais etapas que envolve usos de equipamentos. Paulsen; Sposto (2013), ao avaliar residências unifamiliares de baixa renda no Brasil, não consideraram o uso de energia para a construção no local na avaliação energética, alegando que este tipo de habitação é normalmente artesanal (produzida manualmente) e não foi considerada a energia referente à mão de obra neste estudo. Asdrubali; Baldassarri; Fthenakis (2013) adotaram valores com base na literatura, considerando o consumo pela fase de canteiro de obras igual a 2% da energia incorporada

relativa a produção e transporte dos materiais. A unidade funcional assumida na maioria dos estudos é o metro quadrado (m<sup>2</sup>).

### 3. METODOLOGIA

Este trabalho possui característica explicativa e foi realizado através de levantamento de dados, ou seja, uma coleta de diversas informações sobre o assunto buscando registrar e avaliar estes dados. Inicialmente, a metodologia *Knowledge Development Process – Constructivist* (ProKnow-C) encontrada nos trabalhos de Vilela (2012) e Waiczky; Ensslin (2013), foi utilizada para seleção dos artigos que embasaram a revisão de literatura, visando entender o tema e cumprir o objetivo da pesquisa.

Essa seleção de portfólio bibliográfico iniciou-se com uma busca nas bases de dados do Portal Capes (CAPES, 2018) que possuíam maior relação com o tema - *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science* - definidas a partir de um estudo prévio sobre o assunto. Para esta busca foram usadas 9 combinações de palavras geradas a partir de 6 palavras-chave na língua inglesa separadas em dois eixos de pesquisa (Tabela 2), combinadas sempre com a palavra *building*. A busca foi realizada pelas ferramentas das próprias bases de dados, usando como filtros: artigos com as palavras-chave nos títulos, palavras-chave ou resumos; e publicações dos últimos 10 anos - 2009 a 2018. Essa busca gerou um banco de artigos bruto com 6458 artigos na língua inglesa publicados em periódicos qualificados.

**Tabela 2.** Fases e etapas do ciclo de vida energético das edificações.

EIXO I: LCA	EIXO II: Estágio
Life cycle energy	Construction site stage
Embodied energy	On-site construction processes
Life cycle energy analysis	Initial energy consumption

Para validação da busca, foi realizado o teste de aderência das palavras-chave. Para isso, selecionou-se 2 artigos do banco de artigos bruto, os quais o título apresentava relação com o tema da pesquisa, e analisou-se o alinhamento das palavras-chave destes artigos com as definidas para a busca. Como estas apareciam em ambos artigos, verificou-se que as palavras-chave selecionadas realmente eram adequadas a pesquisa, mantendo o resultado encontrado para o banco de artigos bruto.

Ainda na seleção do portfólio bibliográfico, alguns filtros determinados pelo método ProKnow-C foram aplicados, são estes em sequência de execução:

- Quanto a redundância: para eliminar os artigos duplicados foi usada a ferramenta EndNote, o que resultou em 2501 artigos brutos;
- Quanto ao alinhamento pelo título: após a análise dos títulos dos 2501 artigos, foram excluídas as publicações que não tinham relação direta com o tema, resultando em um banco de 149 artigos;
- Quanto ao reconhecimento científico: Através das informações disponibilizadas pelo Google Acadêmico foi determinado do número de vezes que cada artigo foi citado, mantendo no banco apenas artigos com mais de 15 citações, ou seja, 86 artigos;
- Quanto a data de publicação: após o filtro de reconhecimento científico, 63 artigos com baixo número de citações foram separados, entretanto artigos muito recentes ainda não possuem um número de citações representativo, mas podem ser relevantes. Assim, após a análise destes, 25 artigos com até 2 anos de publicação foram reinseridos ao banco devido ao alinhamento do título com o assunto pesquisado;

- Quanto ao alinhamento pelo resumo: a partir da análise dos resumos, foram selecionados 52 artigos, entretanto 5 destes não estavam disponíveis para acesso;
- Quanto ao alinhamento do texto completo: após a leitura completa dos 47 artigos disponíveis, foram selecionados 24 artigos que efetivamente apresentaram uma relação direta com o tema avaliação energética em canteiros de obras.

Portanto, 24 artigos relevantes e de reconhecimento científico foram usados como portfólio bibliográfico para a revisão de literatura que embasou o estudo de caso. É importante ressaltar que destes, apenas 7 artigos consideravam a fase canteiro de obras em seus estudos de casos, 12 eram revisões bibliográficas que relatavam a pequena quantidade de estudos nesta fase e 5 eram estudos de caso que apenas citavam esta fase. Além disso, também foram usados nesta revisão uma dissertação, uma tese e três artigos nacionais que ajudaram a compreender melhor o tema no contexto do Brasil. Desse modo, observa-se que este tema é uma lacuna de pesquisa.

Posteriormente a revisão da literatura, foi realizado o levantamento de dados de obras residenciais multifamiliares executadas na RMGV, como área construída do edifício (em m<sup>2</sup>), consumo energia elétrica advindo da concessionária local (em kWh), consumo de combustível do gerador (se houver), tipos de sistemas usados (estrutura, vedação, entre outros), equipamentos que utilizaram óleo diesel ou gasolina (tipo e tempo de uso), através de um questionário enviado por correspondência virtual, em novembro de 2017, a 46 construtoras atuantes nesta região do Espírito Santo - Brasil. O questionário foi baseado nos itens descritos como relevantes nas pesquisas estudadas durante a revisão da literatura e foi dividido em quatro partes: (i) características gerais da edificação; (ii) tecnologias construtivas usadas; (iii) equipamentos usados por fase; (iv) consumo energético.

As construtoras foram selecionadas a partir da lista de empresas associadas ao Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado do Espírito Santo - SINDUSCON-ES, disponível no site deste sindicato e, como o foco da pesquisa eram as edificações residenciais multifamiliares, as construtoras que não atuam nesta área foram descartadas. A identidade das empresas construtoras pesquisadas, bem como dos seus empreendimentos, não serão divulgados nessa pesquisa.

#### **4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

A partir da seleção realizada, foi feito contato, por correspondência virtual e telefone, com diversas construtoras, contudo, foram coletados dados de apenas três obras, tendo em vista que apenas duas construtoras retornaram o questionário parcialmente respondido e uma enviou dados de duas obras. Isto pode indicar que as construtoras atuantes na RMGV não tem conhecimento do impacto da fase de canteiro de obras tanto nos custos globais da construção quanto nos danos ambientais causados e por isso negligenciam estas informações. Ressalta-se que, para Marques, Gomes e Brandli (2017), o monitoramento e a gestão contínua do consumo dos recursos no canteiro de obras é fundamental para melhorar o desempenho ambiental da construção civil. Além disso, como nenhum dos três questionários recebidos estavam completamente respondidos, não foi possível levantar todo o consumo energético desta etapa. Logo, devido a indisponibilidade de dados referentes ao fator transporte dos trabalhadores até a obra e consumo de óleo diesel ou gasolina dos equipamentos, esta pesquisa avaliou somente a eletricidade consumida diretamente pelos equipamentos e instalações temporárias usadas no local.

Dessa forma, os objetos de pesquisa são três edifícios residenciais que usam métodos de construção tradicional, ou seja, estrutura de concreto armado, localizados em Vitória, cidade pertencente a Região Metropolitana da Grande Vitória e capital do estado do Espírito Santo – Brasil. Os parâmetros dos edifícios estão resumidos na tabela 3.

Tabela 3. Características gerais e tecnologias construtivas das edificações estudadas.

	EDIFÍCIO A	EDIFÍCIO B	EDIFÍCIO C
<b>CARACTERÍSTICAS GERAIS</b>			
Tipologia do apartamento	2 quartos	4 quartos	2 quartos
Área total construída	7552,41m <sup>2</sup>	8157,78m <sup>2</sup>	10.400,35m <sup>2</sup>
Duração da obra	26 meses	40 meses	35 meses
Ano de entrega da obra	2015	2015	2013
<b>TECNOLOGIAS CONSTRUTIVAS</b>			
Fundação	Estaca tipo Trilho	Estaca tipo Franki	Estaca tipo Hélice
Estrutura	Concreto armado Moldada <i>in loco</i>	Concreto armado Moldada <i>in loco</i>	Concreto armado Moldada <i>in loco</i>
Vedação vertical externa	Bloco de concreto	Bloco de concreto	Bloco de concreto
Vedação vertical interna	<i>Dry-wall</i>	<i>Dry-wall</i>	<i>Dry-wall</i>
Esquadrias	PVC	Alumínio	Alumínio
Cobertura	Não informado	Telha fibrocimento	Telha fibrocimento

Nota: Os edifícios B e C foram executados pela mesma construtora

A partir do objetivo definido para esta pesquisa, o limite determinado foi a etapa canteiro de obras, incluindo apenas a energia consumida na forma de eletricidade diretamente pelos equipamentos e instalações temporárias usadas no local. Além disso, os parâmetros de análise englobam o consumo de energia primária, em GJ, sendo que o fator de conversão de eletricidade para energia primária, ou seja, o coeficiente de conversão usado é de 1,6, o mesmo adotado por Paulsen e Sposto (2013) em um estudo realizado no Brasil, e a unidade funcional usada é m<sup>2</sup>.

Apesar de questionados, os entrevistados não responderam quais equipamentos foram usados no local durante a construção e nos três casos não houve o uso de gerador, ou seja, a eletricidade usada foi a fornecida pela concessionária local. Estes dados de consumo de energia estão detalhados na tabela 4.

Tabela 4. Consumo energético da etapa construção no local das edificações estudadas.

	EDIFÍCIO A	EDIFÍCIO B	EDIFÍCIO C
Consumo total de energia elétrica (KWh)	96.066	245.910	82.124
Consumo total de energia primária (GJ)	553,34	1416,44	473,03
Consumo de energia primária por área (GJ/m <sup>2</sup> )	0,073	0,174	0,045

Notas: 1KWh de eletricidade é igual a 3,6 MJ; Coeficiente de conversão de eletricidade para energia primária é de 1,6 (PAULSEN; SPOSTO, 2013).

A tabela 5 expõe uma comparação com estudos já publicados que analisaram edificações residenciais multifamiliares. Tavares (2006) estudou um modelo de 4340m<sup>2</sup> de área construída com apartamentos de 3 quartos, estrutura de concreto armado, vedação vertical de bloco cerâmico rebocado, cobertura de telha de fibrocimento e esquadrias de alumínio. O modelo analisado por Silva (2012) possui aproximadamente 1000m<sup>2</sup> de área construída com apartamentos de 2 quartos, estrutura de concreto armado, vedação vertical de bloco cerâmico rebocado, cobertura de telha de fibrocimento. Devi e Palaniappan (2014) avaliou um edifício de 10766,4m<sup>2</sup> de área construída com apartamentos de 3 quartos, estrutura de concreto armado, vedação vertical externa de bloco de concreto e interna de bloco cerâmico, ambas rebocadas, esquadrias de madeira e vidro. Su e Zhang (2016) estudaram 3 edifícios com áreas construídas variando entre 5524 a 9574m<sup>2</sup>, estrutura em aço, vedação vertical de bloco de concreto celular e concreto pré-fabricado e esquadrias de vidro.



Marques, Gomes e Brandli (2017) analisaram o consumo energético no canteiro de obras de 4 edificações residenciais com áreas construídas variando entre 5046,30 a 13704,93m<sup>2</sup>, apartamentos de 1 à 3 quartos e estrutura de concreto armado.

Tabela 5. Comparação entre o consumo energético dos edifícios estudados e pesquisas anteriores.

		Consumo de energia primária por área (GJ/m <sup>2</sup> )
Edifícios estudados	A	0,073
	B	0,174
	C	0,045
Tavares (2006)*		0,004
Silva (2012) **		3,10 a 3,37
Devi; Palaniappan (2014) **		1,31
Su; Zhang (2016) ***		6,3 a 6,7
Marques, Gomes e Brandli (2017) *		0,013 a 0,057

Notas: \* considerando apenas os equipamentos usados no canteiro de obras  
\*\* incluindo transporte do trabalhador até a obra; \*\*\* edifício com estrutura em aço

É importante ressaltar que o escopo varia entre as pesquisas, resultando em valores diferentes. Tavares (2006) já havia mencionado em seus estudos esta variação significativa na definição dos eventos que compõem o consumo energético na etapa da obra e os resultados consequentemente diversos, afirmando que algumas pesquisas incluem os transportes de materiais de construção e equipamentos e outras não consideram o transporte mas incluem os desperdícios de materiais. Para Kofoworola e Gheewala (2009) e Chastas, Theodosiou e Bikas (2016), a falta de clareza na definição do limite e, consequentemente, dos processos a serem incluídos afetam o resultado e a futura comparabilidade dos estudos.

Nota-se que o transporte de trabalhadores até a obra é um parâmetro de alta relevância no consumo energético desta fase e, por isso, deve ser considerado em uma avaliação. É importante ressaltar que este dado não foi estimado nesta pesquisa por falta de informações fornecidas pelas construtoras, dificultando a comparação. Outro parâmetro a ser ponderado é o coeficiente de conversão de eletricidade para energia primária. A energia primária é a forma de energia encontrada na natureza que não sofreu nenhum processo de conversão ou transformação, e pode ser extraída e convertida em energia secundária como eletricidade ou diesel (PAULSEN; SPOSTO, 2013). No Brasil, grande parte da eletricidade é produzida a partir de recursos renováveis e, por isso, este coeficiente é baixo se comparado aos outros estudos: 3,4 (DEVI; PALANIAPPAN, 2014; KARIMPOUR et al., 2014) e 3,8 (STEPHAN; STEPHAN, 2016). Assim, diversos autores destacam a necessidade de considerar a região onde o edifício está implantado, pois as diferenças nos padrões e demandas energéticas podem alterar a relevância desta contribuição.

Além disso, ao comparar os resultados, destaca-se a importância de considerar o processo construtivo em uma avaliação energética, tendo em vista que o edifício com estrutura em aço, processo mais industrializado e mecanizado, apresentou valores superiores aos dos outros estudos, que analisaram edificações com métodos de construção tradicional. Isto indica que, quanto mais industrializado e mecanizado o processo construtivo, maior será o consumo energético na fase de canteiro de obras.

Portanto, observa-se que mesmo com diferenças na forma de construir, e considerando a tecnologia usada na construção brasileira ultrapassada se comparada aos países desenvolvidos, o consumo de energia na fase de construção no local, excluindo o transporte dos trabalhadores, é baixa, corroborando com diversos autores que relatam que esta fase

representa de 1 a 6% da energia total consumida pela edificação, considerando uma vida útil de 50 anos. Mesmo assim, Devi e Palaniappan (2014) afirmam que esta deve ser considerada um componente significativo da energia do ciclo de vida de edifícios.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de ser um setor que gera grandes impactos ambientais, a construção civil ainda dá seus primeiros passos sobre a análise destes. Como o edifício é um produto único, a análise completa dos impactos gerados ao longo do ciclo de vida é um processo complexo e a aplicação de processos mais simples como a avaliação separada por recurso consumido, tipo de carga ambiental liberada ou considerando cada uma das fases deste ciclo, possibilitam identificar as etapas de maior consumo energético, levando a melhoria do processo. Com o crescimento na demanda por edifícios com menor consumo de energia operacional, a representatividade da energia incorporada aumentou, abrindo campo para estudos na fase pré-uso. Neste contexto, observou-se a carência de estudos ligados a indústria de processos, no caso de edifícios, na etapa de canteiro de obras, tendo em vista que a maioria dos estudos negligenciam estes dados, alegando a baixa contribuição desta fase. Contudo, considerando a realidade brasileira e a forma de construir neste país, os efeitos do consumo energético no canteiro de obras, podem revelar-se significativos não só para esta etapa, pois podem provocar impactos cruciais no consumo de materiais e desempenho da edificação.

Partindo disso, este artigo buscou levantar o consumo de energia na fase pré-uso, etapa de canteiro de obras, de três edifícios residenciais implantados na RMGV, incluindo somente a eletricidade consumida diretamente pelos equipamentos e instalações temporárias usados no local. O transporte dos trabalhadores e consumo de óleo diesel ou gasolina dos equipamentos não foram incluídos devido a falta de informações fornecidas pelas construtoras. Quanto a este fato, é importante ressaltar que apenas duas construtoras retornaram o questionário parcialmente respondido, resultando em uma amostra de três obras, tornando estes resultados preliminares em relação aos almejados para a pesquisa. Isto pode indicar que as construtoras, desconhecem ou negligenciam as informações relativas a etapa de canteiro de obras, desconhecendo a representatividade desta tanto nos custos globais da construção quanto nos danos ambientais.

A partir da comparação com outros estudos, notou-se que o transporte de trabalhadores e o processo construtivo usado exercem grande relevância no consumo energético desta fase e devem ser considerados em uma avaliação energética. Além disso, as diferenças regionais devem ser avaliadas, pois estas modificam o coeficiente de conversão de eletricidade para energia primária. No Brasil, grande parte da eletricidade é produzida a partir de recursos renováveis e, por isso, este coeficiente é menor que os de outros países, o que pode ter levado a uma menor contribuição em relação a outros estudos.

Logo, o consumo de energia encontrado por esta pesquisa na fase de construção no local, excluindo o transporte dos trabalhadores e consumo de óleo diesel ou gasolina dos equipamentos, foi pouco significativo, corroborando com diversos autores que relatam que esta fase representa de 1 a 6% da energia total consumida pela edificação, considerando uma vida útil de 50 anos. Contudo, mais pesquisas precisam ser realizadas, em diferentes regiões do Brasil, com diferentes tecnologias construtivas, em edificações comerciais e institucionais, visando confirmar estes dados para a realidade brasileira.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, J. E.; Wulffhorst, G.; Lang, W. (2015). *Energy analysis of the built environment - A review and outlook. Renewable and Sustainable Energy Reviews 44*, p.149 – 158.

- Asdrubali, F.; Baldassarri, C.; Fthenakis, V. (2013). *Life cycle analysis in the construction sector: Guiding the optimization of conventional Italian buildings*. *Energy and Buildings* 64, p. 73–89.
- Azari, R.; Abbasabadi, N. (2018). *Embodied energy of buildings: A review of data, methods, challenges, and research trends*. *Energy & Buildings* 168, p.225–235.
- Birgisdottir, H.; Moncaster, A.; Wiberg, A.H.; Chae, C.; Yokoyama, K.; Balouktsi, M.; Seo, S.; Oka, T.; Lützkendorf, T.; Malmqvist, T. (2017). *IEA EBC annex 57 'evaluation of embodied energy and CO2eq for building construction'*. *Energy and Buildings* 154, p.72–80.
- Cabeza, L. F.; Rincón, L.; Vilariño, V.; Pérez, G.; Castell, A. (2014). *Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29, p.394–416.
- CAPES. Portal de Periódicos. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br>>. Acesso em: setembro de 2018.
- Chastas, P.; Theodosiou, T.; Bikas, D. (2016). *Embodied energy in residential buildings-towards the nearly zero energy building: A literature review*. *Building and Environment* 105, p.267-282.
- Chau, C.K.; Leung, T.M.; Ng, W.Y. (2015). *A review on Life Cycle Assessment, Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on buildings*. *Applied Energy* 143, p.395-413.
- Devi L., P.; Palaniappan, S. (2017). *A study on energy use for excavation and transport of soil during building construction*. *Journal of Cleaner Production* 164, p. 543-556.
- Devi L., P.; Palaniappan, S. (2014). *A case study on life cycle energy use of residential building in Southern India*. *Energy and Buildings* 80, p. 247-259.
- Dixit, M. K. (2017). *Life cycle embodied energy analysis of residential buildings: A review of literature to investigate embodied energy parameters*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79, p.390–413.
- Dixit, M.K.; Fernández-Solís, J.L.; Lavy, S.; Culp, C.H. (2012). *Need for an embodied energy measurement protocol for buildings: A review paper*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, p. 3730-3743.
- Giordano, R.; Serra, V.; Demaria, E.; Duzel, A. (2017). *Embodied energy versus operational energy in a nearly zero energy building case study*. *Energy Procedia* 111, p. 367–376.
- International Organization for Standardization – ISO (2006). *Environmental Management e Life Cycle Assessment e Principles and Frameworks*, ISO 14.040.
- Karimpour, M.; Belusko, M.; Xing, K.; Bruno, F. (2014). *Minimising the life cycle energy of buildings: Review and analysis*. *Building and Environment* 73, p.106-114.
- Kofoworola, O. F.; Gheewala, S. H. (2009). *Life cycle energy assessment of a typical office building in Thailand*. *Energy and Buildings* 41. p. 1076–1083.
- Malmqvist, T.; Nehasilova, M.; Moncaster, A.; Birgisdottir, H.; Rasmussen, F. N.; Wiberg, A. H.; Potting, J. (2018). *Design and construction strategies for reducing embodied impacts from buildings – Case study analysis*. *Energy & Buildings* 166, p. 35–47.
- Marques, C.T.; Gomes, B.M.F.; Brandli, L.L. (2017). *Consumo de água e energia em canteiros de obra: um estudo de caso do diagnóstico a ações visando a sustentabilidade*. *Ambiente Construído* 17, n. 4, p. 79-90.
- Paulsen, J. S.; Sposto, M. R. (2013). *A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program "MY HOUSE MY LIFE"*. *Energy and Buildings* 57, p. 95-102.
- Ramesh, T.; Prakash, R.; Shukla, K. K. (2010). *Life cycle energy analysis of buildings: An overview*. *Energy and Buildings* 42, p. 1592–1600.
- Rauf, A.; Crawford, R. H. (2015). *Building service life and its effect on the life cycle embodied energy of buildings*. *Energy* 79, p. 140-148.

- Roh, S.; Tae, S.; Suk, J.; Ford, G. (2017). *Evaluating the embodied environmental impacts of major building tasks and materials of apartment buildings in Korea*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 73, p. 135-144.
- Silva, L. P. (2012). *Análise do ciclo de vida energético de habitações de interesse social*. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil.
- Sposto, M. R.; Paulsen, J. S. (2014). *Energia incorporada em habitações de interesse social na fase de pré-uso: o caso do programa minha casa minha vida no Brasil*. *Oculum Ensaio*, v. 11, p. 39-50.
- Stephan, A.; Crawford, R. H.; Myttenaere, K. de. (2013). *A comprehensive assessment of the life cycle energy demand of passive houses*. *Applied Energy* 112, p. 23–34.
- Stephan, A.; Stephan, L. (2016). *Life cycle energy and cost analysis of embodied, operational and user-transport energy reduction measures for residential buildings*. *Applied Energy* 161, p. 445–464.
- Su, X.; Zhang, X. (2016). *A detailed analysis of the embodied energy and carbon emissions of steel-construction residential buildings in China*. *Energy and Buildings* 119, p. 323-330.
- Tavares, S. F. (2006). *Metodologia de análise do ciclo de vida energética de edificações residenciais brasileiras*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, Brasil.
- Vilela, L. O. (2012). *Aplicação do PROKNOW-C para seleção de um portfólio bibliográfico e análise bibliométrica sobre avaliação de desempenho da gestão do conhecimento*. *Revista Gestão Industrial* 8, n. 1, p. 76-92.
- Waiczysk, C.; Ensslin, E. R. (2013). *Avaliação de produção científica de pesquisadores: mapeamento das publicações científicas*. *Revista Contemporânea de Contabilidade* 10, n. 20, p. 97-112.
- Zeng, R.; Chini, A. (2017). *A review of research on embodied energy of buildings using bibliometric analysis*. *Energy and Buildings* 155, p. 172-184.
- Zina, C. M.; Durante, L. C.; Callejas, I. J. A.; Rosseti, K. de A. C.; Vilela, J. C.; Medeiros, L. M. (2016). *Estudo sistemático sobre avaliação do ciclo de vida energético em edificações*. In: XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2016, São Paulo. Anais ... Porto Alegre: ANTAC, p. 2377-2386.
- Zhang, Z.; Wang, F. (2016). *Hybrid input-output analysis for life-cycle energy consumption and carbon emissions of China's building sector*. *Building and Environment* 104, p.188-197.

## 7. AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pelo suporte financeiro para realização dessa pesquisa.