



UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**CORRELAÇÃO ENTRE COMPACIDADE, ENERGIA
INCORPORADA E EMISSÕES DE CO₂, EM PROJETOS
DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL**

RENATA POSTAY

São Leopoldo, Março de 2015.

RENATA POSTAY

**CORRELAÇÃO ENTRE COMPACIDADE, ENERGIA
INCORPORADA E EMISSÕES DE CO₂, EM PROJETOS DE
HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Dra. Andrea Parisi Kern

Banca examinadora: Prof. Dr. Vanderley Moacyr John
Prof. PhD. Mauricio Mancio

São Leopoldo, Março de 2015.

P857c Postay, Renata

Correlação entre compacidade, energia incorporada e emissões de CO₂, em projetos de habitação de interesse social / por Renata Postay. – 2015.

120 f. : il., 30 cm.

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2015.

Orientação: Profa. Dra. Andrea Parisi Kern.

1. Índice econômico de compacidade. 2. Sistema construtivo. 3. Empreendimento habitacional de interesse social. 4. Energia incorporada. 5. Emissão de CO₂. I. Título.

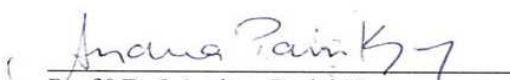
CDU 69

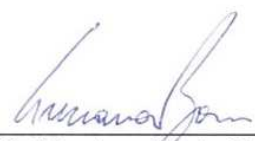
RENATA POSTAY

**"CORRELAÇÃO ENTRE COMPACIDADE, ENERGIA
INCORPORADA E EMISSÕES DE CO₂ EM PROJETOS DE
HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL"**

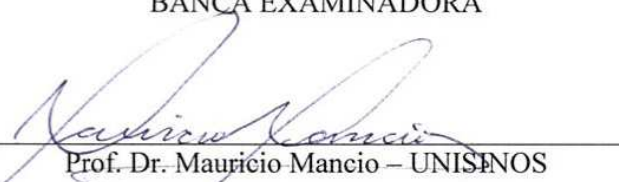
Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração: Gerenciamento de Resíduos, da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

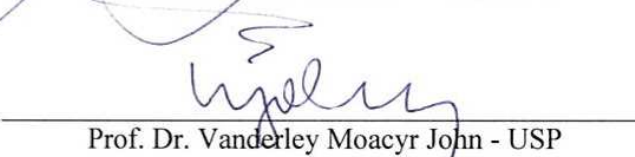
Aprovada em 27 de março de 2015


Prof.ª Dr.ª Andrea Parisi Kern
Orientadora – UNISINOS


Prof.ª Dr.ª Luciana Paulo Gomes
Coordenadora do PPGEC-UNISINOS

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Mauricio Mancio – UNISINOS


Prof. Dr. Vanderley Moacyr John - USP

“E se um edifício fosse mais parecido com um ninho? Nesse caso, ele seria feito de materiais locais e abundantes. Seria adaptado especificamente ao lugar e ao clima. Usaria o mínimo de energia, sem perder o conforto. Duraria apenas o tempo suficiente e depois desapareceria sem deixar rastro. Seria exatamente o que precisasse ser.”

Jeanne Gang (1964-)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas graças recebidas e por ser presença intensa em minha vida.

Agradeço à UNISINOS que com a concessão da bolsa deu o “*start*” neste projeto de mestrado. Aliado à professora Dra. Andrea Parisi Kern que desde o primeiro momento abraçou a pesquisa comigo. Orientadora e exemplo de pessoa, que soube motivar e cobrar quando necessário e me dar o tempo de desenvolver quando julgava oportuno.

À minha família que sempre apoiou minhas decisões. Pensando em família, inicialmente meus pais, Alfredo e Lourdes, incentivadores do estudo como grande valor da vida. Também meus irmãos Eduardo e Leonardo e meus amigos que considero igualmente família.

FONTES DE FINANCIAMENTO DA PESQUISA



SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|------------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 21 |
| 1.1 | PROBLEMA DE PESQUISA | 24 |
| 1.2 | QUESTÃO DE PESQUISA | 26 |
| 1.3 | OBJETIVOS | 26 |
| 1.3.1 | <i>Objetivo geral</i> | 26 |
| 1.3.2 | <i>Objetivos específicos</i> | 27 |
| 1.4 | ESTRUTURA DA PESQUISA | 27 |
| 1.5 | DELIMITAÇÕES DO TRABALHO | 27 |
| 2 | ANÁLISES DE IMPACTOS AMBIENTAIS: ENERGIA E EMISSÕES DE CO₂ | 29 |
| 2.1 | AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA APLICADA A CONSTRUÇÃO CIVIL | 30 |
| 2.2 | ENERGIA INCORPORADA | 35 |
| 2.3 | EMISSÕES DE CO ₂ | 37 |
| 3 | HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL | 38 |
| 3.1 | PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA | 38 |
| 3.2 | PROJETO DE EMPREENDIMENTOS DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL | 41 |
| 3.2.1 | <i>Compacidade do projeto</i> | 42 |
| 3.2.2 | <i>Sistemas construtivos em EHIS</i> | 45 |
| 4 | MÉTODO DE PESQUISA | 47 |
| 4.1 | CARACTERIZAÇÃO DOS PROJETOS ESTUDADOS | 47 |
| 4.2 | ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA | 49 |
| 4.2.1 | <i>Etapa 1: quantificação dos materiais</i> | 49 |
| 4.2.2 | <i>Etapa 2: análise da EI e emissões de CO₂</i> | 53 |
| 4.2.3 | <i>Etapa 3: correlação entre compacidade e consumo de EI e emissões de CO₂</i> | 54 |
| 5 | APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS | 55 |
| 5.1 | ETAPA 1: QUANTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS | 55 |
| 5.2 | ETAPA 2: ANÁLISE DA EI E EMISSÕES DE CO ₂ | 60 |
| 5.3 | ETAPA 3: CORRELAÇÃO ENTRE COMPACIDADE E EI E EMISSÕES DE CO ₂ | 66 |
| 6 | CONCLUSÃO | 69 |
| 6.1 | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 70 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 71 |
| | APÊNDICES | 78 |
| | ANEXOS | 114 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Os princípios da construção sustentável..... | 25 |
| Tabela 2 – Níveis de análise energética da IFIAS..... | 35 |
| Tabela 3 – Síntese Projetos..... | 48 |
| Tabela 4 – Planilha de serviço de obra..... | 50 |
| Tabela 5 – Composição do traço para os blocos de concreto..... | 52 |
| Tabela 6 – Planilha de serviço de obra – P 1A..... | 55 |
| Tabela 7 – Quantitativo de materiais totais dos projetos com alvenaria de bloco cerâmico (A) | 57 |
| Tabela 8 – Quantitativo de materiais para alvenaria dos projetos com bloco de concreto (B) | 58 |
| Tabela 9 – Quantitativo de materiais para paredes de concreto dos projetos (C) | 58 |
| Tabela 10 – IeC dos projetos | 59 |
| Tabela 11 – Quantitativo de EI e emissões de CO ₂ totais dos projetos – sistemas construtivos A, B e C..... | 60 |
| Tabela 12 – Quantitativo EI e emissões de CO ₂ por m ² dos projetos – sistemas construtivos A, B e C..... | 61 |
| Tabela 13 – Quantitativo de EI dos materiais de construção (% do total do projeto) – sistemas construtivos A, B e C..... | 62 |
| Tabela 14 – Quantitativo de emissões de CO ₂ dos materiais de construção (% do total do projeto) – sistemas construtivos A, B e C | 63 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Emissões antropogênicas globais de CO ₂ | 21 |
| Figura 2 – Fases de uma ACV..... | 31 |
| Figura 3 – Ciclo de vida energético de uma edificação..... | 34 |
| Figura 4 – Delineamento da pesquisa..... | 49 |
| Figura 5 – Denominação dos projetos com respectivos sistemas construtivos | 52 |
| Figura 6 – Relação entre consumo de materiais e compactidade dos projetos..... | 59 |
| Figura 7 – Correlação entre compactidade (IeC), EI (MJ/ m ²) e Emissões de CO ₂ (kg/ m ²) - Projetos com alvenaria de bloco cerâmico (A) | 66 |
| Figura 8 – Correlação entre compactidade (IeC), EI (MJ/ m ²) e Emissões de CO ₂ (kg/ m ²) - Projetos com alvenaria de bloco de concreto (B)..... | 67 |
| Figura 9 – Correlação entre compactidade (IeC), EI (MJ/ m ²) e Emissões de CO ₂ (kg/ m ²) - Projetos com parede de concreto (C)..... | 67 |

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

ACVE – Avaliação do Ciclo de Vida Energético

BIM – *Building Information Modeling*

BNH – Banco Nacional de Habitação

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CEF – Caixa Econômica Federal

CES – *Cambridge Engineering Select*

EHIS – Empreendimento de Habitação de Interesse Social

EI – Energia Incorporada

EIA – *Energy Information Administration*

EQ – Equivalente

GER – *Gross Energy Requirement*

IBICT – Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia

IC – Índice de Compacidade

ICV – Inventário do Ciclo de Vida

IeC – Índice Econômico de Compacidade

IFIAS – *International Federation of Institutes for Advanced Study*

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

ISO – *International Organization for Standardization*

MCIDADES – Ministério das Cidades

MCTI – Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação

PAC – Programa de Aceleração do Crescimento

PLANHAB – Plano Nacional de Habitação

PLHIS – Planos Locais de Habitação de Interesse Social

PMCMV – Programa Minha Casa Minha Vida

PNH – Política Nacional de Habitação

REE – Requisitos Energéticos de Energia

RTE – Requisitos Totais de Energia

TEP – Tonelada Equivalente de Petróleo

UFF – Universidade Federal Fluminense

RESUMO

POSTAY, Renata. **Correlação entre compacidade, energia incorporada e emissões de CO₂, em projetos de habitação de interesse social.** São Leopoldo, 2015. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2015.

A construção civil consome uma grande quantidade de matérias primas e energia. No consumo de energia especificamente, o segmento residencial é muito expressivo pois utiliza o equivalente aos setores comercial e público juntos, em todas as fontes de energia, envolvendo desde a energia para a produção de materiais e componentes, como a energia utilizada na fase de uso das edificações. No Brasil, o setor de habitação de interesse social (HIS) teve um impulso significativo com o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), que objetiva a redução do deficit habitacional brasileiro e a promoção do crescimento econômico. Práticas de ações voltadas à economia e otimização da construção, desde a fase de projeto até a execução, são muito oportunas, tendo em vista a atual crise energética que o país vem enfrentando e a escala do segmento de HIS. Neste contexto, o projeto tem papel crucial como indutor da racionalização da construção, pois, a escolha dos materiais e decisões quanto à arquitetura tem influência direta no consumo de materiais e impactos relacionados. O estudo busca investigar o efeito da compacidade do projeto (através do índice econômico de compacidade – IeC) em diferentes sistemas construtivos, utilizados em empreendimentos de habitação de interesse social (EHIS), na energia incorporada (EI) e nas emissões de CO₂. A pesquisa analisou cinco projetos de edifícios do PMCMV, e para cada um considerou três sistemas construtivos (alvenaria estrutural com blocos cerâmicos, alvenaria estrutural com blocos de concreto e paredes de concreto). A pesquisa foi conduzida através de três etapas: (1) quantificação dos materiais dos projetos; (2) análise da energia incorporada e emissões de dióxido de carbono (CO₂) dos materiais de construção através de dados publicados na literatura e em dados do *software Cambridge Engineering Select*; (3) verificação da correlação entre compacidade, energia incorporada e emissões de CO₂. Quanto ao consumo de materiais, os resultados mostram diferença aproximada de 20% em massa (kg) entre os projetos com menor e maior índice econômico de compacidade, e diferença entre 16% a 20% na análise de EI e emissões de CO₂, quando são analisados projetos de um mesmo sistema construtivo.

Palavras-chave: Índice econômico de compacidade; Sistema construtivo; Empreendimento habitacional de interesse social; Energia incorporada; Emissão de CO₂.

ABSTRACT

POSTAY, Renata. **Correlation between design compactness and constructive systems applied in social housing with embodied energy and CO₂ emissions.** São Leopoldo, 2015. 120 f. Dissertação (Master Degree in Civil Engineering) – Postgraduate Civil Engineering Program, Unisinos, São Leopoldo.

Civil construction consumes a large amount of raw materials and energy. In energy consumption specifically, the residential segment is very significant because it uses, in all energy sources, the equivalent of the commercial and public sectors together, ranging from the energy to materials and components production, such as the energy used in the use phase of buildings. In Brazil, the social housing sector had a significant growth with the program “*Minha Casa Minha Vida (MCMV)*” (my house, my life), which aims to reduce the Brazilian housing deficit and to promote economic growth. Actions aimed at saving and optimization of construction are very timely, from the design stage to execution, given the current energy crisis the country is facing, and the scale of social housing segment. In this context, the design plays a crucial role as an inducer of the rationalization of construction, therefore, the choice of materials and decisions on the architecture has a direct influence on materials consumption and related impacts. The study aims to investigate the relationship between design compactness (through economic index of compactness) and construction systems used in social housing developments (EHIS) with embodied energy and CO₂ emissions. The research examined five designs of buildings of MCMV, considering construction systems (structural masonry with ceramic bricks, masonry with concrete blocks and concrete walls) for each design. The study was conducted through three steps: (1) quantification of the materials of the designs; (2) analysis of the embodied energy and carbon dioxide (CO₂) emissions, from data published in the literature and in the CES Selector software; (3) verification of the relationship between compactness and construction systems, with consumption of EI and CO₂ emissions. Regarding the consumption of materials, the results show an approximate 20% difference in weight (kg) between projects with lower and higher economic index of compactness, and the difference between 16% to 20% in EI analysis and CO₂ emissions, considering the same construction system.

Key-words: Economic index of compactness; Construction system; Social housing design, Embodied energy, CO₂ emissions.

1 INTRODUÇÃO

No panorama mundial o desafio ambiental requer medidas urgentes e significativas. Segundo os autores e Torgal e Jalali (2010a), um dos problemas mais iminentes está relacionado ao aumento da concentração de CO₂ na atmosfera. Tal elevação de emissões gera aquecimento da temperatura média do ar, ocasiona fenômenos atmosféricos cada vez mais extremos e pode levar à acidificação das águas do mar.

A Figura 1, apresenta as emissões globais de dióxido de carbono (CO₂) antropogênico, expressas em gigatoneladas de CO₂ equivalente por ano (Gt CO₂ / ano) a partir da combustão de combustíveis fósseis, produção de cimento e queima, e da silvicultura e outros usos da terra durante o período do ano de 1750 a 2011. Em destaque (Figura 1), as emissões cumulativas de CO₂ e suas incertezas, mostrados nas barras.

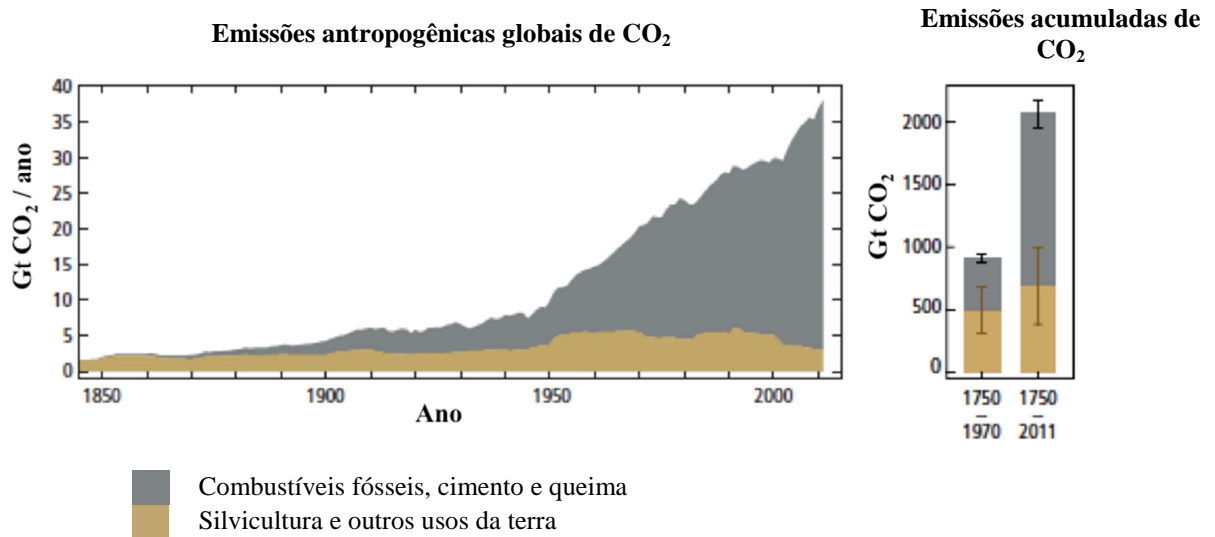


Figura 1 – Emissões antropogênicas globais de CO₂.

Fonte: IPCC (2014).

Segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (2014), conforme demonstra a Figura 1, cerca de metade das emissões de CO₂ antropogênicas acumuladas entre 1750 e 2011 ocorreram nos últimos 40 anos. Além disso, entre 1750 e 2011, emissões de CO₂ antropogênicas cumulativas de 2040 ± 310 Gt de CO₂ foram adicionados à atmosfera.

Duas outras questões amplamente em pauta atualmente são a escassez de energia e o esgotamento de recursos naturais. O Brasil, por exemplo, há anos enfrenta problemas com o abastecimento de energia, sendo um marco nesse cenário a crise no fornecimento de eletricidade no ano de 2001 (BRASIL, 2005). Na Grã-Bretanha, o problema é apontado por Roaf, Crichton e Nicol (2009, p. 314): “a maior queda de energia elétrica registrada na Grã-

Bretanha nos últimos 25 anos atingiu boa parte de Londres no início da tarde do dia 28 de agosto de 2003”.

Dados disponibilizados pela *Energy Information Administration* (SILVA, 2012, p. 17) apontam a um contexto de esgotamento dos recursos, “considerando-se as reservas disponíveis e o consumo atual de petróleo, carvão e gás natural, pode-se calcular que estes recursos deverão se extinguir dentro de aproximadamente 43, 132 e 60 anos, respectivamente”. Essas informações são confirmadas por Berge (2009) ao afirmar que recursos como carvão podem durar mais 150 anos, já gás e petróleo têm reservas apenas para mais 40 a 60 anos, mantendo-se as taxas atuais de uso. Estudos norteados pelo conceito da Pegada Ecológica apontam que os Estados Unidos da América tem um incremento de 2,4 vezes na demanda por recursos renováveis da natureza tendo como comparativo o ano de 1961 (GFN, 2013). Paralelo a isso, estima-se que até o ano 2030 irá crescer cerca de 40% a procura de energia a nível mundial (TORGAL; JALALI, 2010b).

Nos três assuntos abordados, a construção civil figura com grande participação. Em termos de emissão de CO₂, a indústria da construção é responsável por 30% do CO₂ emitido mundialmente (TORGAL; JALALI, 2010a). Segundo Tavares (2006), Berge (2009) Lobo et al. (2010) e Torgal e Jalali (2010a), cerca de 40% da energia consumida no mundo abastece a indústria da construção civil, além de ser a indústria apontada por consumir mais matérias-primas do que qualquer outra atividade econômica, com elevada extração de matérias-primas não renováveis (TORGAL; JALALI, 2010a).

O desenvolvimento sustentável é complexo e multidisciplinar. Assim, necessita de ferramentas e métodos para medir e comparar os impactos ambientais das atividades humanas para vários produtos, tanto de bens como serviços (SHARMA et al., 2011). Ainda que tardiamente, se comparada a outras indústrias, a construção civil vem adotando uma conscientização e postura mais proativas em relação ao meio ambiente e à sustentabilidade (CARVALHO; SPOSTO, 2012). Contudo, segundo Scheidt et al. (2010), pouco se aborda sobre requisitos ambientais em empreendimentos de habitação de interesse social (EHIS), um segmento altamente aquecido nos últimos anos no Brasil por força de políticas do Governo Federal.

O cenário habitacional brasileiro voltado à demanda de habitação de interesse social vivenciou um período de perda da capacidade decisória e redução de recursos para investimento com a extinção, em 1986, do Banco Nacional de Habitação (BNH). Passou a ter maior representação apenas em 2003, com a criação do Ministério das Cidades e a aprovação

da nova Política Nacional de Habitação (PNH) em 2004. Neste âmbito foi estruturado o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social, previsto na Lei 11.124/05, além da elaboração pelo Ministério, em 2008, de um plano nacional participativo denominado Plano Nacional de Habitação - PlanHab (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2009).

Conforme o Ministério das Cidades (2009) o PlanHab foi concebido como instrumento estratégico de retomada do planejamento do setor habitacional nacional, fundamentado em uma estratégia de longo prazo, com horizonte previsto até 2023 e fundamentado nos quatro eixos estruturadores da política habitacional: modelo de financiamento e subsídio; política urbana e fundiária; arranjos institucionais e cadeia produtiva da construção civil.

Neto, Moreira e Schussel (2012) reforçam que este conjunto de questões envolvidas fortalece a articulação entre ações e recursos das diversas esferas de governo e dos agentes comprometidos em enfrentar o problema habitacional no Brasil. Destaque também para os Planos Locais de Habitação de Interesse Social (PLHIS), que os municípios foram impulsionados a elaborar, tendo o propósito de serem instrumentos para reverter o quadro habitacional deficitário, com a previsão de questões associadas à irregularidade fundiária e urbanística, precariedade na qualidade habitacional e carência de novas unidades.

A fim de atender essas demandas, em janeiro de 2007 o Governo Federal instituiu o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), inserido no PlanHab, o qual direciona recursos para o setor de infraestrutura social e urbana. Já em março de 2010 o programa foi reforçado pelo PAC 2, mais focado no papel estratégico do setor habitacional e da construção civil como vetores de inclusão social e desenvolvimento econômico do país (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2009).

Com objetivo de colocar em curso um conjunto de diretrizes e ações previstas no PlanHab foi criado o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), por meio da Medida Provisória nº 459/2009 e aprovado pela Lei nº 11.977/2009, para, juntamente com o PAC criarem a confiança necessária para que os demais atores públicos, privados e sociais voltassem a investir e a se capacitar para elaboração de projetos, disponibilização de recursos técnicos e financeiros (NETO; MOREIRA; SCHUSSEL, 2012).

De acordo com dados disponibilizados pela Caixa Econômica Federal (CEF, 2011) entre os anos de 2003 até dezembro de 2010 foi realizada a contratação de um milhão e cinco mil unidades habitacionais no âmbito do PMCMV, sendo 936,5 mil pela Caixa

Econômica Federal (CEF), com estimativa de chegar até o final de 2014 a 2 milhões de casas e apartamentos construídos.

Contudo, em meio a discussão sobre a qualidade dos produtos entregues, no final de 2012 o Governo Federal, por meio dos Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação (MCTI) e das Cidades (MCIDADES) juntamente com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) lançaram um edital de pesquisa com o objetivo de apoiar financeiramente projetos voltados ao monitoramento, à avaliação e ao aprimoramento do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) e do eixo de Urbanização de Assentamentos Precários do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC-Urbanização de Assentamentos Precários), presente na Chamada MCTI/CNPq/MCIDADES N° 11/2012.

Esta Dissertação é parte de um projeto de pesquisa desenvolvido no âmbito da referida Chamada, tendo como título: “Projetos de Empreendimentos de Habitação de Interesse Social: conjunto de indicadores para avaliação do desempenho urbano, ambiental e quesitos de habitabilidade”.

Neste contexto, o foco do presente trabalho está na investigação da correlação entre decisões de projeto como a forma do edifício, expressa através da compactidade do projeto, os sistemas construtivos utilizados em empreendimentos de habitação de interesse social e o montante de energia incorporada e emissões de CO₂, em continuidade ao trabalho desenvolvido por Schneck (2013).

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Berge (2009) traz um questionamento pertinente à atividade da construção civil e ao processo de concepção dos edifícios. O autor questiona o uso excessivo de recursos para construir e pergunta: qual a forma de reduzir a necessidade de materiais no setor? Ainda segundo o autor, torna-se claro que a questão dos materiais de construção é de fato tão importante quanto a questão da redução da utilização de energia operacional em edifícios.

Construir mais usando menos materiais tornou-se o grande desafio atual, pois reduz a pressão sobre a natureza e o volume de material nos aterros de resíduos, além de outros impactos ambientais (WEINSTOCK, 2000; AGOPYAN; JOHN, 2011).

A redução do consumo de recursos é apresentada por Kibert (2008 apud Torgal; Jalali, 2010) como o primeiro princípio da construção sustentável, conforme é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Os princípios da construção sustentável.

| Princípios | |
|------------|---|
| 1 | Redução do consumo de recursos |
| 2 | Reutilização de recursos |
| 3 | Utilização de recursos recicláveis |
| 4 | Proteção da natureza |
| 5 | Eliminação de tóxicos |
| 6 | Aplicação de análises de ciclo de vida em termos económicos |
| 7 | Ênfase na qualidade |

Fonte: Kibert (2008 apud TORGAL; JALALI, 2010, p. 24).

No âmbito da construção sustentável, o projeto atua como protagonista, pois é o elemento fundamental ao processo de produção do ambiente construído, sendo o elemento indutor da racionalização da construção, da qualidade do produto final e de sua sustentabilidade. É na fase de projeto que o produto é concebido e os materiais e as técnicas construtivas são especificados (CARVALHO; SPOSTO, 2012). Assim, “definir materiais é, no fundo, designar a *performance* que a construção poderá desempenhar” (PESSOA, 2009, p. 39).

Complementar a isso, tem-se a intenção do projeto/ *desing* de produtos, que também pode ser associado à construção civil, de fazer um produto atraente, acessível, que atenda aos regulamentos de acordo com sua finalidade, e quanto à durabilidade, que dure o tempo suficiente para atender às expectativas do mercado (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002).

Segundo Medvedovski (2002), a baixa qualidade da produção habitacional brasileira no padrão social é reflexo da inexistência de um processo sistemático de avaliação dos erros e acertos na produção do ambiente construído. Decorrente das falhas de retroalimentação, o contexto conduz à repetição das soluções adotadas, sem melhoria da produção desse ambiente. Paralelo a isso, Lima, Formoso e Echeveste (2011) apontam a necessidade de procedimentos para disponibilizar informações num formato adequado para apoiar a tomada de decisão ao longo do desenvolvimento dos projetos.

Heineck e Fernandes (2004) salientam que a análise de projetos pode ser direcionada a diversos aspectos de ordem qualitativa: a estética, a geometria funcional, a geometria morfológica, a construtibilidade e a racionalidade. Esses aspectos reforçam a importância das decisões tomadas durante o processo de projeto, que está diretamente relacionada ao fato de que é quando são estabelecidas diferentes definições que impactam o produto nas mais variadas dimensões. Segundo Brandão (2006) grande parte dos projetos

considerados típicos nesse segmento não configuram arranjos com os melhores índices de conforto, além de apresentarem baixo nível de construtibilidade e qualidade ao usuário.

Contudo, a questão ambiental em EHIS ainda tem sido pouco explorada na academia e ainda menos no mercado, em face ao grande volume de investimento, materiais e recursos humanos, tendo em vista a grande escala deste segmento. Por exemplo, o estudo de Scheidt et al. (2010) identificou como deficiente a sistematização nas atividades de identificação, análise, priorização, disponibilização, controle, avaliação e armazenamento das informações relativas a impactos ambientais, tendo como resultado a desconsideração dos requisitos que promovem a sustentabilidade ambiental, não pelo desconhecimento, mas sim pelas falhas gerenciais de informações e até mesmo da legislação. Parte da pesquisa conduzida por Schneck (2013) investiga relações entre a forma do edifício com habitabilidade, custo e energia incorporada e emissões de CO₂, considerando um sistema construtivo.

Assim, identifica-se uma demanda por traçar um paralelo entre decisões de projeto quanto à geometria dos arranjos físicos propostos, neste trabalho expressa pelo índice econômico de compacidade, com os aspectos ambientais relacionados à energia incorporada e emissões de CO₂, considerando os sistemas construtivos e materiais mais empregados em EHIS.

1.2 QUESTÃO DE PESQUISA

Neste contexto, a questão de pesquisa que norteia o trabalho consiste em:

“Qual a correlação entre compacidade, energia incorporada e emissões de CO₂, em projetos de habitação de interesse social?”

Como desdobramento da questão de pesquisa principal, apresenta-se a seguinte questão secundária:

- “Como avaliar, na fase de projeto de EHIS, a energia incorporada e emissões de CO₂?”

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é:

- Investigar a correlação entre compacidade, energia incorporada e emissões de CO₂, em projetos de habitação de interesse social.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- Verificar a relação entre a compactidade dos projetos e o consumo de materiais, analisando os três sistemas construtivos propostos.
- Verificar a relação entre a compactidade dos projetos com a energia incorporada na fabricação dos materiais.
- Verificar a relação entre a compactidade dos projetos e emissões de CO₂ na fabricação dos materiais.

1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA

A continuidade deste trabalho encontra-se organizada da seguinte forma:

No capítulo 2, referente à revisão bibliográfica, apresenta-se um panorama sobre o meio ambiente e os impactos que vem sofrendo, enfatizado as questões energéticas, de avaliação do ciclo de vida e relativas as emissões de CO₂, traçando paralelos com a construção civil e suas especificidades.

O capítulo 3 discorre sobre a temática dos empreendimentos de habitação de interesse social, no âmbito do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), considerando-se aspectos relativos ao projeto, compactidade e sistemas construtivos.

O capítulo 4 apresenta o método de pesquisa utilizado, descrevendo os projetos utilizados como objetos de estudo e explica o desenvolvimento das etapas de pesquisa realizadas.

Já o capítulo 5 é destinado à apresentação, análise e discussão dos resultados obtidos na pesquisa e o capítulo 6 apresenta as conclusões, assim como sugestões para trabalhos futuros.

Como fechamento do presente trabalho, na sequência são listadas as referências bibliográficas utilizadas e dispostos os Apêndices e Anexos.

1.5 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

Devido à abrangência dos temas investigados, faz-se necessário definir o escopo desta pesquisa tanto em termos dos impactos ambientais, como da metodologia. No decorrer do trabalho não serão contabilizados os impactos ambientais que ocorrem nas etapas de operação, manutenção e demolição, nem dados referentes ao transporte dos materiais de

construção até o canteiro de obra. Isso porque o foco principal é a energia incorporada e emissões de CO₂ decorrentes da etapa de produção dos materiais de construção, nos sistemas construtivos analisados, durante a fase pré-operacional da edificação.

Desta forma, considera-se que o objetivo desta investigação não é obter o total geral consumido em cada um dos projeto de energia incorporada e emissões de CO₂, mas sim investigar impactos ambientais causados por cada uma das alternativas de projeto, em função da forma da edificação, representada pela compactidade. Bem como, destaca-se que a pesquisa não refere-se a uma avaliação de ciclo de vida e sim a uma avaliação ambiental dentro dos parâmetros estabelecidos.

Outra ressalva é que o trabalho utiliza dados de energia incorporada de uma base de dados internacional, através do programa *Cambridge Engineering Selector* (CES) e módulo *Constructor*, além de dados nacionais do trabalho realizado por Tavares (2006), não tendo o intuito de quantificar a energia incorporada dos materiais de construção, tendo em vista a complexidade envolvida.

2 ANÁLISES DE IMPACTOS AMBIENTAIS: ENERGIA E EMISSÕES DE CO₂

Atualmente, quando se busca uma definição de desenvolvimento sustentável, a mais aceita é a que ficou consagrada no Relatório Brundtland, de 1987, que é sintetizada como: “atender às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades” (WCED, 1987, p. 9).

Em conformidade com esse conceito, ao se tratar de meio ambiente¹, tanto no desempenho de suas atividades, como nos seus produtos e serviços as organizações estão objetivando administrar com eficácia os elementos que podem gerar impacto ambiental² significativo, buscando alternativas para compreender, demonstrar e melhorar seu desempenho ambiental (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2015).

Dentre as questões ambientais que mais preocupam a sociedade atual estão as mudanças climáticas, esgotamento de recursos naturais, esgotamento de matrizes energéticas e geração de resíduos.

A matriz energética mundial é composta por 13% de fontes renováveis em países industrializados e 6% para as nações em desenvolvimento. No Brasil, a matriz energética possui 45,3% da produção proveniente de fontes como recursos hídricos, biomassa e etanol, além das energias eólica e solar. Deste montante, as usinas hidrelétricas são responsáveis pela geração de mais de 75% da eletricidade do País (BRASIL, 2014b). Porém, mesmo com a matriz energética predominantemente de fonte renovável e limpa, é recorrente a preocupação em reduzir o consumo de energia do país (PAULSEN; SPOSTO, 2013).

Na lista das dez atividades consideradas maiores consumidoras de energia do país estão seis da construção civil, sendo elas: cimento, cerâmica, metais não ferrosos, aço, química e mineração. Essas indústrias em conjunto usam 75% de fontes não renováveis (TAVARES, 2006) e representam um consumo energético de 27347×10^3 tep – tonelada equivalente de petróleo – anuais (LOBO, SANTOS, TAVARES; 2010).

¹ *Meio ambiente*: “circunvizinhança em que uma organização opera, incluindo ar, água, solo, recursos naturais, flora, fauna, seres humanos e suas inter-relações” (ABNT, 2015, p. 1).

² *Impacto ambiental*: “qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização” (ABNT, 2015, p. 2).

2.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA APLICADA A CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo Bragança, Mateus e Neiva (2012), tratando-se da fase de concepção/projeto de edificações, a escolha adequada aos usos específicos do prédio e ao meio ambiente tanto de tecnologias construtivas como dos materiais empregados, tem papel fundamental na redução dos impactos ambientais da construção, como, por exemplo, a importância de priorizar materiais com baixos níveis de energia incorporada.

Neste contexto, a avaliação do ciclo de vida (ACV) voltada tanto para produtos e materiais como para as próprias construções, emerge da preocupação de racionalizar o montante energético das edificações e evoluiu para um conceito mais abrangente que integra todos os impactos ambientais (LIBRELOTTO; JALALI, 2008). Bragança, Mateus e Neiva (2012) definem ACV como uma metodologia que permite avaliar e quantificar a carga do potencial impacto ambiental associado a um determinado produto, processo ou serviço ao longo do seu ciclo de vida. Normalizada por um conjunto de normas da série ISO 14000, os princípios gerais são abordados na NBR ISO (*International Organization for Standardization*) 14040 (ABNT, 2009a), tendo como desdobramento a norma NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b).

A ACV, também entendida como uma forma de análise sistêmica, é conceituada segundo a ABNT (2009a) como o estudo dos aspectos ambientais e dos impactos ambientais potenciais ao longo do ciclo de vida³ de um produto. Considera desde a aquisição das matérias-primas, passando pela produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem indo até a disposição final. Ou seja, possui uma abordagem do berço ao túmulo, sendo que os impactos ambientais potenciais estão relacionados à unidade funcional do sistema em análise (ABNT, 2009a).

A definição da unidade funcional a ser utilizada é uma premissa da ACV, e de acordo com Rosa (2010), tem como finalidade principal fornecer uma referência para a qual as entradas e saídas estão relacionadas. De acordo com Lobo (2010), a unidade funcional configura um padrão que permite a análise comparativa entre as diferentes opções de produtos ou serviços.

A ACV é sistematizada em quatro fases, que são: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação (ABNT, 2009a). A Figura 2 mostra como esses estágios se relacionam entre si.

³ *Ciclo de vida*: estágios consecutivos e encadeados de um sistema de produto, desde a aquisição da matéria-prima ou de sua geração a partir de recursos naturais até a disposição final. (ABNT, 2009a, p. 1).

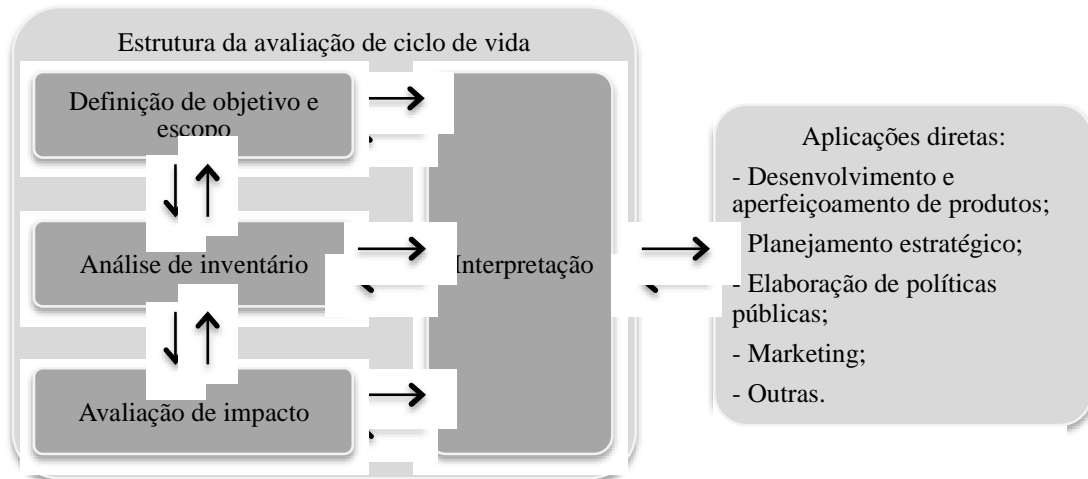


Figura 2 – Fases de uma ACV.

Fonte: ABNT (2009a).

Bragança, Mateus e Neiva (2012) fazem as seguintes ponderações a respeito das quatro fases da ACV:

- fase de definição de objetivo e escopo: nela são descritos os propósitos e limites para a potencial aplicação do estudo, envolvendo definição do público-alvo, delimitação das fronteiras do sistema, tipos de impactos que serão analisados e unidade funcional utilizada;
- fase de análise de inventário: envolve a quantificação de dados para cada unidade de processo dos materiais e energias que entram e saem do sistema;
- fase de avaliação de impactos: engloba a interpretação e a avaliação da magnitude e significância dos potenciais impactos vinculando as entradas e saídas associadas aos materiais analisados;
- fase de interpretação: são identificados os principais problemas associados aos produtos analisados e esboçadas conclusões, além da identificação de melhorias.

Vale ressaltar que, na avaliação do impacto tem-se fluxos e impactos, caracterizados por uma série definida de indicadores relacionados ao aspecto ambiental. Os mais utilizados são: energia incorporada, emissões, consumo de recursos, potencial para reciclagem e toxicidade. Assim, pode-se ter como exemplo de fluxo a emissão de CO₂, o qual está relacionado ao impacto do aquecimento global (CARVALHO, 2009). Desta forma, a análise dos impactos dos fluxos de materiais e de energia é um estudo de relações de causa-efeito (ASSEFA et al., 2007).

A ACV traz consigo oportunidades que, segundo ABNT (2009a), estão relacionadas principalmente a:

- visualização de oportunidade de melhoria perante o desempenho ambiental do produto em análise quanto a distintos pontos de seu ciclo de vida;
- subsídio de informações para a tomada de decisão e priorização;
- a seleção de indicadores de desempenho ambiental e
- *marketing* relacionado a aspectos ambientais do produto.

Assim, um uso potencial da ACV é comparar produtos com um mesmo uso, porém constituídos de materiais e processos distintos, como é o caso na construção de uma parede de alvenaria decidir entre blocos cerâmicos ou de concreto. Também é aplicável para confrontar processos heterogêneos para a obtenção de produtos (ou serviços) que destinam-se a mesma finalidade. Para tanto é necessária uma base de comparação e um modelo para os dados, com a utilização de métodos de avaliação, entre os quais a análise multicritério, no qual, a importância relativa de cada critério é expressa em pesos e o método de agregação permite a transformação das avaliações associadas às categorias de impacto em um indicador de ACV (SOARES; SOUZA; PEREIRA, 2006).

A ACV tem sido amplamente utilizada em trabalhos científicos, especialmente em outros segmentos ao da construção. Em levantamento exploratório sobre ACV no Brasil, Zocche (2014) encontrou 183 trabalhos acadêmicos, entre dissertações (137) e teses (46), com dados obtidos nas três bases: banco de teses da Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior); IBICT (Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia) e CNPQ. Desse total, apenas 13 trabalhos estão relacionados a área de conhecimento da engenharia civil.

As dificuldades do desenvolvimento de pesquisas de ACV no Brasil segundo Zocche (2014) estão associadas a diversos fatores, porém os mais importantes, listados em ordem de relevância são:

- indisponibilidade de banco de dados nacionais;
- incerteza do método em relação aos resultados para a tomada de decisão;
- dificuldade na coleta de dados primários.

Assim, o maior limitante do avanço que a ACV enfrenta no país é a falta de um conjunto de dados localmente apropriados, ou seja, um banco de dados genuinamente brasileiro, que faria da ACV um instrumento bastante efetivo para a introdução definitiva da

variável ambiental no processo gerencial de tomada de decisão da indústria nacional (ZOCICHE, 2014).

Para a escolha dos materiais envolvidos na construção civil de forma mais fundamentada, Manfredini e Sattler (2005) destacam que os aspectos energéticos relacionados à produção deles é fundamental para a análise dos impactos causados pela produção dos mesmos. Com o intuito de visualizar a dimensão e o tipo de impacto causado pela produção dos materiais é necessário ter domínio da quantidade e dos tipos de fontes energéticas utilizadas (MANFREDINI; SATTLER, 2005; TAVARES, 2006; CARVALHO, 2009).

Com o objetivo de simplificar, obtendo-se uma análise de impactos ambientais significativa, adota-se a avaliação do ciclo de vida energético (ACVE), que não utiliza o conceito de multianálise característico das ACVs. Embora seja baseada na ACV, a ACVE não visa substituir um método de análise ambiental amplo, mas priorizar o inventário de dados de consumo energéticos diretos e indiretos para a produção de determinado produto ou serviço (CARMINATTI Jr., 2012). A ACVE torna viável a avaliação da eficiência energética e de impactos ambientais relevantes como a emissão de gases do efeito estufa (TAVARES, 2006; CARVALHO, 2009). Além disso, demanda menos custo e tempo na sua execução do que uma ACV completa (CARVALHO, 2009).

Paulsen e Sposto (2013), com a pesquisa mais focada em análise de energia de ciclo de vida, utilizam como alternativa de simplificação do estudo a análise da energia como um indicador para o impacto ambiental, justificando que é a produção de energia, que gera a maior parte das emissões, isso segundo resultados obtidos.

No setor da construção civil, pela maior viabilidade, a ACVE é mais utilizada, pois há otimização dela em relação à ACV, onde a avaliação do impacto é reduzida para a utilização da energia como um indicador para o impacto ambiental, já que a maior parte das emissões é decorrente da produção de energia, além do uso da maioria dos recursos não renováveis, como: carvão, petróleo e gás (SPOSTO; PAULSEN, 2014). No Brasil, podem ser citadas as pesquisas que adotam a ACVE tais como, Tavares (2006), Lobo (2010), Carminatti Jr. (2012), Sposto e Paulsen (2014), Pedroso et al. (2014).

Na Figura 3 é apresentado o desdobramento do ciclo de vida energético de uma edificação, partindo da energia total, ou seja, conjunto dos requisitos energéticos em uma abordagem “berço ao túmulo” e suas subdivisões: energia incorporada inicial, energia incorporada de manutenção e energia de desconstrução. Um dado importante a partir da

ACVE é a relação de retorno energético, obtida através do tempo necessário de consumo operacional da edificação para igualar o custo energético embutido inicialmente (TAVARES, 2006).

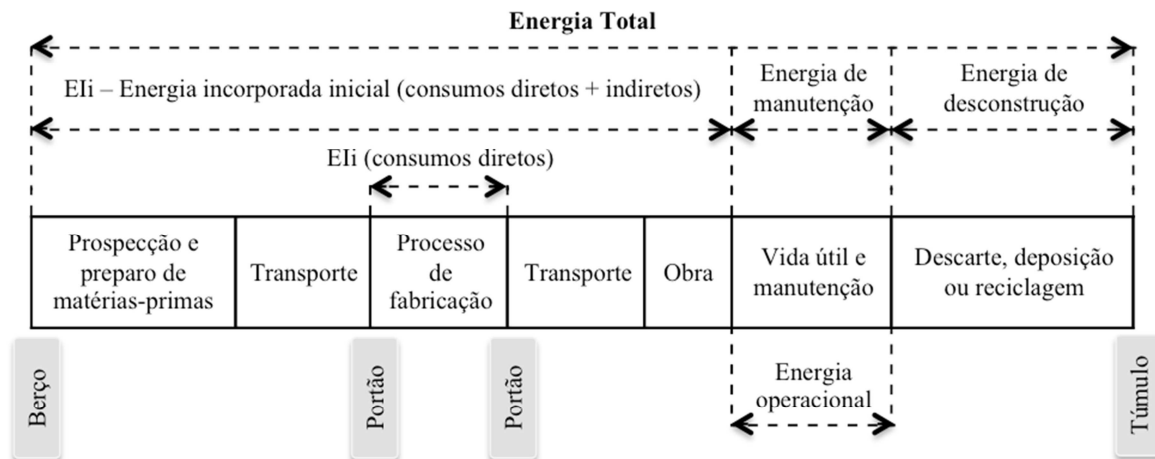


Figura 3 – Ciclo de vida energético de uma edificação.

Fonte: Tavares (2006).

Quanto ao ciclo de vida energético, em uma abordagem “berço ao túmulo”, considera-se a energia total embutida de uma edificação o conjunto dos insumos energéticos, diretos e indiretos, utilizados para erguer a edificação, considerando o transporte dos materiais até o canteiro de obras. Depois o ciclo ainda se subdivide em: energia operacional (energia necessária durante a vida útil, seja para cocção, utilização de equipamentos, climatização, etc); energia incorporada de manutenção (reparos, reformas, etc); energia de desconstrução (considera o total de insumos diretos para demolição ou desmontagem de uma edificação, incluindo o transporte dos resíduos) (TAVARES, 2006).

Considerando o transporte no ciclo de vida das edificações residenciais, é relevante a distância de transporte dos materiais percorrida entre a indústria de transformação até o local da obra, além da massa (peso) do material. Por exemplo, pode haver um material que demande pouca energia no processo de fabricação, porém, pela importância do peso e distância percorrida, a energia do transporte pode acrescer mais energia incorporada ao mesmo do que o processo de fabricação, como é o caso da areia (TAVARES, 2006).

Qualquer atividade de transformação ou transporte de matéria tem a necessidade de utilização de uma forma de energia. A determinação da energia requerida para a produção deste bem ou serviço pode ser chamada de análise energética e exige uma forma sistematizada de avaliação deste fluxo energético através do valor de *Gross Energy Requirement* (GER) ou

Requisitos Totais de Energia (RTE) expressos em MJ/kg ou unidade de produto, sendo os requisitos energéticos expressos em termos de energia primária, forma como são obtidos na natureza, podendo ser de fontes renováveis ou não renováveis. Também é incluso no cálculo de RTE a conversão de energia primária para secundária, que vem a ser a forma de energia disponível para uso. Para estas conversões são definidas razões chamadas pela IFIAS (*International Federation of Institutes for Advanced Study*) de Requisitos Energéticos de Energia (REE), que expressam as quantidades de energia primária utilizada para conversão em energia secundária em MJ/MJ (TAVARES, 2006).

O modelo de análise energética do IFIAS apresenta quatro níveis para avaliação de requisitos totais de energia, mostrados na Tabela 2 (LOBO, 2010).

Tabela 2 – Níveis de análise energética da IFIAS.

| Nível | Fonte | Escopo da análise energética (Limites do Nível) | Requisitos de energia (média) |
|----------|-----------------------|---|-------------------------------|
| Nível 01 | Secundária | Processos | 50% |
| Nível 02 | Primária e secundária | Nível 01 + extração de matérias-primas, fabricação, transporte e perdas na geração e transformação de energia | 90% |
| Nível 03 | Primária e secundária | Nível 02 + meios de bem de capital (como edificações, máquinas e veículos) | 99% |
| Nível 04 | Primária e secundária | Nível 03 + fabricação dos bens de capital | Próximo a 100% |

Fonte: adaptado de Lobo (2010).

Lobo (2010) destaca que o nível 04 apresenta extrema complexidade, com valores pequenos de consumo de energia e precisão questionável.

2.2 ENERGIA INCORPORADA

A fim de aperfeiçoar esse conceito amplo e complexo utiliza-se o de Energia Incorporada (EI) definido como o total dos requisitos energéticos nos dois primeiros níveis do esquema da IFIAS, porém sem totalizar as conversões energéticas a partir dos REE (TAVARES, 2006).

Gauzin-Müller (2002) define EI 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. Para Abeysundara et al. (2009 apud Bissoli-Dalvi et al., 2013, p. 103) a energia incorporada pode ser considerada como um parâmetro para “comparar materiais em termos ambientais, quantificando-se a energia consumida durante o ciclo de vida, incluindo também a necessária para o transporte”. Desta forma as fontes renováveis têm papel importante na redução dos impactos causados frente as fontes de energia tradicionais.

Segundo Paulsen e Sposto (2013), a energia incorporada dos materiais de construção e processos a eles relacionados (como transportes) representa aproximadamente entre 30%, podendo, segundo Tavares (2006), chegar a 50% do ciclo de vida da edificação.

Quanto ao conceito mais abrangente de energia incorporada nos materiais, incluindo a energia consumida durante a sua vida útil, diferentes abordagens são utilizadas, como as apresentadas por Torgal e Jalali (2010b, p.72) “do início da extração das matérias-primas até à porta da fábrica (*cradle to gate*); do início até à obra (*cradle to site*), ou do início até à fase de demolição e da deposição (*cradle to grave*)” (TORGAL; JALALI, 2010b, p. 72). No entanto, Berge (2009) considera apenas o primeiro caso, a energia de transporte e de aplicação na fase de construção do edifício. Assim, para o autor, a energia incorporada de um produto 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.

Quanto à participação das atividades da construção civil no total acumulado de Energia Incorporada, segundo Tavares (2006), os resultados são desiguais em termos de concentração. Isso é explicado pelo fato de 10 materiais, de um total de 23 a 26 materiais estudados, reunirem 90% da energia consumida durante todo o ciclo de vida de edificações. Os três maiores responsáveis pela EI são invariavelmente cerâmica vermelha, cimento e aço (TAVARES, 2006).

O estudo de Sposto e Paulsen (2014), realizado com empreendimentos de habitação de interesse social, aponta que cerca de 60% da energia incorporada inicial é decorrente da construção de paredes, incluindo os blocos cerâmicos, argamassa e pintura. Desta maneira, os autores indicam haver neste elemento o maior potencial de melhoria para reduzir a EI da edificação na sua fase pré-operacional, assim, com diversas possibilidades, tais como a escolha de materiais e elementos com menor EI (SPOSTO; PAULSEN, 2014).

Quanto à EI do material bloco cerâmico, vale salientar que a energia térmica utilizada para a queima dos mesmos, na maior parte do Brasil, é baseada na lenha, o que representa maior parte do impacto desse material (SPOSTO; PAULSEN, 2014). As propriedades desejadas dos produtos de cerâmica vermelha são adquiridas por intermédio da exposição ao calor, o que torna a indústria de blocos cerâmicos consumidora de grandes quantidades de energia, tal como a indústria de aço, cimento e vidro (MANFREDINI; SATTLER, 2005).

Neste contexto, investigando 20 indústrias do setor de cerâmica no estado do Rio Grande do Sul, Manfredini e Sattler (2005) diagnosticaram como média ponderada da participação de cada insumo energético no total de energia consumida no processo de produção de tijolos e blocos cerâmicos o seguinte panorama: 92,15% representado por biomassa; 4,51 óleo diesel e 3,34% energia elétrica. Essa biomassa é caracterizada como um recurso renovável, podendo ser lenha, serragem, cavaco, retalho de móveis e, até, sabugo de milho, e por possuir significativa liberação de CO₂ durante a queima.

2.3 EMISSÕES DE CO₂

Os estudos de fontes de energia possuem dois enfoques distintos e principais, são eles: consumo energético e emissão de CO₂. O primeiro é destinado às análises das questões de consumo e eficiência energética, já as emissões de CO₂ estão relacionadas aos impactos ambientais provenientes do gás carbônico (LOBO, 2010).

Tavares (2006) aponta que um quarto da geração de CO₂ é oriunda da construção e operação de edificações, excluindo-se dessa estimativa a parcela de CO₂ relativa às queimadas. Esse montante refere-se tanto ao consumo energético como às reações químicas dos processos de fabricação dos materiais de construção. Estima-se que somente na fabricação de cimento seja emitido 5% de todo o CO₂ mundial (LOBO, 2010).

Assim, ao se tratar de qualquer estudo de sustentabilidade, um item particularmente relevante é a seleção de materiais de construção, o que se justifica pelo fato dos processos de fabricação dos mesmos contribuem decisivamente para a geração de gases do efeito estufa. (TAVARES, 2006; CARVALHO, 2009). Isso torna recorrente a discussão sobre a abordagem na escolha desses materiais e a consideração de alternativas para emprego de tecnologias mais sustentáveis e adequadas à cada localidade (LOBO; SANTOS; TAVARES, 2010).

O paradigma da sustentabilidade ganha força quando trata dos possíveis mercados relacionados a crédito de emissão carbono (CO₂), como potencial para negociação, comercialização e criação de mecanismo de desenvolvimento limpo (LOBO; SANTOS; TAVARES, 2010). Esses créditos de carbono ou também intitulados de Redução Certificada das Emissões (RCE) são certificados emitidos a partir da comprovação da diminuição das emissões de gases com efeito estufa (GEE), onde a equivalência é de uma tonelada de dióxido de carbono (CO₂ equivalente) convertida em um crédito de carbono (PESSOA, 2009).

3 HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

No mundo, a falta de habitação digna é um problema tão antigo quanto complexo. Ao se tratar de habitação de interesse social, questões de restrições de custos e áreas mínimas desafiam governos e a própria indústria da construção civil a fazer mais e melhor com menos.

No Brasil, pesquisa realizada pelo Ministério das Cidades e publicada em 2011, apontou o déficit habitacional de 5.546.310 em valores absolutos, que corresponde a 9,6% dos domicílios particulares permanentes, dos quais 4.629.832 em áreas urbanas, sendo 1.537.030 em regiões metropolitanas. Quanto à distribuição percentual por faixas de renda média familiar, o déficit habitacional está assim distribuído: 9,1% para famílias sem renda, 80,5% renda de até 3 salários mínimos, 8,2% de 3 a 6 salários, 1,6% mais de 10 salários mínimos (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2011). Dados da Fundação Getulio Vargas (FGV, 2014) estimam que até 2024 o País terá 16,8 milhões de novas famílias, sendo 10 milhões com renda familiar entre 1 e 3 salários mínimos, resultando no desafio de proporcionar habitações adequadas para mais de 20 milhões de famílias até 2024.

3.1 PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA

Como medida para reduzir o déficit habitacional, no âmbito do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) realizado pelo governo brasileiro, o impulso dos investimentos no setor habitacional sofreu alavancagem significativa com o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), estritamente voltado ao financiamento de moradia através do mercado imobiliário em parceria com o setor público, através do qual o Ministério das Cidades projeta 31 milhões de novos atendimentos habitacionais até 2023 (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2011).

O Programa, além de estar relacionado à redução do déficit habitacional do país, tem um claro objetivo que é a promoção do crescimento econômico, onde criaram-se meios de controle dos investimentos públicos no setor da construção civil (VALENÇA; BONATES, 2010). Por um lado, o PMCMV estabelece um patamar de subsídio direto, proporcional à renda das famílias e por outro lado, objetiva impactar a economia através dos efeitos multiplicadores gerados pela indústria da construção (CARDOSO; ARAGÃO; ARAUJO, 2011).

O PMCMV tem sua estruturação para provimento de habitação prioritária para famílias com renda bruta de até 3 salários mínimos, com subsídio para habitações de interesse social adquirida de empreendimentos “na planta”. Também inclui famílias com renda de até

10 salários mínimos, priorizando a faixa de 3 a 6 salários mínimos, a partir de financiamento às empresas do mercado imobiliário para produção de habitação de interesse social (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2009).

A abrangência do programa tem foco nas capitais e respectivas regiões metropolitanas, priorizando municípios com mais de 100 mil habitantes, podendo contemplar, em condições especiais, municípios entre 50 e 100 mil habitantes, de acordo com o seu déficit habitacional (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2009).

O processo de enquadramento dos projetos no PMCMV é impulsionado pelas construtoras, que podem firmar parcerias com estados e municípios. As construtoras devem apresentar os projetos do empreendimento às Superintendências Regionais da Caixa Econômica Federal (CEF), que realizam uma análise simplificada dos projetos. Na sequência, a CEF contrata a operação e fiscaliza a execução da obra pela construtora, fazendo o desembolso dos recursos conforme cronograma previamente estabelecido (GOUVEIA, 2013).

Os critérios para priorização de projetos no programa na faixa de até 3 salários aos estados e municípios que oferecerem (CEF, 2013):

- maior contrapartida financeira;
- infraestrutura para o empreendimento;
- terreno;
- desoneração fiscal de ICMS, ITCD, ITBI e ISS.

Outros aspectos considerados são: menor valor de aquisição das unidades habitacionais; existência prévia de infraestrutura; e atendimento a regiões que recebam impacto de grandes empreendimentos de infraestrutura (usinas, hidrelétricas, portos entre outros e às áreas atingidas por catástrofes definidas pela defesa civil) (CEF, 2013).

Basicamente o programa é subdividido em duas categorias, quanto à tipologia, com especificação padronizada devendo atender o mobiliário mínimo estabelecido e as áreas mínimas: tipologia 1 - casa térrea, com área mínima de 36 m² e tipologia 2 - Apartamento/ Casa sobreposta / Sobrado: com área mínima de 39 m² (BRASIL, 2013).

A unidade habitacional é composta, quando apartamento, por sala, 1 dormitório para casal e 1 dormitório para duas pessoas, cozinha, área de serviço e banheiro. Quando se tratar de casa térrea, a única diferenciação de especificação é que a área de serviço é externa.

As dimensões dos compartimentos devem ser compatíveis com mobiliário mínimo determinado (CEF, 2013).

É importante destacar ainda que os projetos de apartamentos no Brasil são voltados para a família nuclear tradicional (BRANDÃO, 2006), o que é evidenciado no próprio programa de necessidades mínimo exigido pelo PMCMV e nas unidades construídas, com pouca flexibilidade de espaços, na maioria dos projetos realizados.

Nascimento e Tostes (2011) apontam que o setor de Engenharia da CEF, responsável pela análise dos EHIS e enquadramentos nos programas de subsídio, verifica o atendimento às regras estabelecidas:

- condições do projeto arquitetônico referentes à funcionalidade (acessibilidade, compartimentação, iluminação, ventilação) e segurança;
- avaliação do valor de mercado das unidades habitacionais;
- orçamento da obra, com foco nos quantitativos de serviços e preços unitários;
- análise do cronograma físico-financeiro.

De forma sistemática são 33 itens de projeto organizados pelos seguintes aspectos: porte do empreendimento, terreno e localização, cota de implantação, taludes, desníveis e contenções, pé-direito, acessibilidade, privacidade, impermeabilidade, cobertura, sustentabilidade, estacionamento e segurança (NASCIMENTO; TOSTES, 2011).

Contudo, algumas críticas são feitas à realidade atual presente nos EHIS ofertados pelo programa PMCMV. Por exemplo, Neto, Moreira e Schussel (2012) afirmam a prevalência da lógica de mercado na política habitacional brasileira em detrimento da qualidade dos projetos, prevalecendo interesses econômicos em desvantagem ao atendimento das necessidades básicas da população. Segundo os autores, a integração com a política urbana foi abandonada, conduzindo à construção de unidades habitacionais padronizadas de baixa qualidade e localização periférica.

Ainda, Nascimento e Tostes (2011) salientam que os parâmetros mínimos acabam se tornando o limite máximo das unidades, uma vez que estas são entregues prontas e já acabadas, oferecidas como a possibilidade definitiva de moradia. As autoras ainda questionam quanto aos investimentos e subsídios em EHIS em termos de distribuição das unidades ofertadas entre as faixas de renda. Segundo elas, o maior número de unidades na faixa de três

até dez salários mínimos está em desacordo com as metas de priorização do Ministério das Cidades e com déficit habitacional. Isso pode levar a uma interpretação de maior preocupação com a dinamização econômica do que propriamente à superação do déficit habitacional brasileiro.

Deste modo, visualiza-se um caminho a ser percorrido para a inserção de parâmetros para melhoria dos empreendimentos ofertados pelos programas de habitação de interesse social, até chegar-se a realmente a uma melhor qualidade nos produtos entregues às famílias.

3.2 PROJETO DE EMPREENDIMENTOS DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

A fase de projeto é responsável por parcela importante das ocorrências de falta de qualidade das edificações, em decorrência tanto da inadequação dos materiais especificados, como por ineficiência das soluções propostas (COSTA, 1995 apud MAYER, 2012, p. 8).

Tal é a relevância da fase de projeto, que já constava na Carta de Atenas (1933 apud MAYER, 2012, p. 42), que:

Regras invioláveis assegurarão aos habitantes o bem-estar da moradia, a facilidade do trabalho, o feliz emprego das horas livres. A alma das cidades será animada pela clareza do planejamento.

Os projetos de empreendimentos habitacionais são geralmente iniciados pela definição de aspectos relativos à arquitetura, seleção das tecnologias e custos. Nos casos de EHIS, especial foco é dado no atendimento ao escopo e especificações de dimensionamentos mínimos (MELHADO, 2001). Apenas posteriormente são considerados o atendimento às exigências de desempenho, tanto do edifício como de suas partes, porém com a entrada em vigor da NBR 15575-1 (ABNT, 2013) busca-se a mudança desse cenário. Assim, as demandas de desempenho, aliada a sustentabilidade ambiental dos edifícios estão começando a ganhar evidência no mercado da construção civil (PAULA; UECHI; MELHADO, 2013)

Contudo, as peculiaridades do segmento de habitações de interesse social, tais como: caráter repetitivo, fixação de padrões construtivos e de qualidade mínimos pelo agente financeiro, valor pago pelas unidades fixado em contrato pelo agente financeiro, margens de lucro relativamente reduzidas, prazos de execução relativamente curtos e número de unidades por empreendimento grandes, comparado ao tamanho das empresas, fazem com que as construtoras

necessitem de mecanismos para monitoramento e controle de seus processos, finalidade precípua dos indicadores de desempenho (GOUVEIA, 2013, p. 31).

No Brasil, a Norma de Desempenho NBR 15575-1/ 2013 define como desempenho o comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas e é estruturada em três aspectos: definição de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação, termos de quantidades mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinados. Tem foco nas exigências dos usuários para o edifício habitacional e seus sistemas, quanto ao seu comportamento em uso e não na prescrição de como os sistemas são construídos (ABNT, 2013). Assim, Oliveira e Mitidieri Filho (2012) apontam que, em decorrência desta norma, há pouco tempo em vigor, a tendência atual é que os edifícios sejam projetados com enfoque em desempenho, isto é, desde a fase de concepção, nas definições das exigências do programa de necessidades os requisitos de desempenho já são levados em conta, qualificando a seleção das alternativas tecnológicas e soluções adotadas.

Reis e Lay (2010) salientam que a habitação de interesse social deve ser socialmente sustentável, respondendo adequadamente às necessidades dos moradores em suas várias dimensões, o que requer um entendimento apropriado das relações entre tais necessidades e às características físicas das habitações.

Segundo Brandão (2006), a definição de setores mais típicos em projetos de EHS é a divisão em zonas social, íntima e de serviços, até para auxiliar nas questões relacionadas à colocação de pisos e instalações. Em estudo que traça um paralelo entre os arranjos espaciais de apartamentos e racionalização construtiva, Brandão (2006, p. 66) conclui que “arranjos fáceis de construir podem ser também arranjos adequados e interessantes ao morador”. Onde verifica-se que as caracterizações morfológica e topológica, relacionadas à arquitetura e projeto, trazem indicações práticas quanto ao grau de racionalização construtiva e economia de materiais.

3.2.1 Compacidade do projeto

Neste segmento, o custo configura como um dos limites mais importantes a ser considerado, porém não é apenas a redução de área das unidades que garante a redução dos custos de obra (GUERRA, KERN e GONZÁLEZ, 2009), prática amplamente utilizada, que além de ineficaz, traz prejuízos aos usuários. Nas palavras de Mayer (2012, p. 52): “mantendo-se constante o tipo e qualidade do material empregado, uma das formas de

parametrizar o custo da construção está diretamente relacionado com a sua compactidade. Assim valeria dizer que, quanto mais compacta a construção, menor o seu custo”.

Consoante, Rocha (2014) reforça que a compactidade, tida como indicador de sustentabilidade tanto de edificações como de parcelas urbanas, é considerada fator determinante para a redução do consumo de material, conseqüentemente, energia incorporada dos processos construtivos, tendo também, repercussão e importância macro-econômica.

Quanto à otimização do projeto em relação à redução da área da envolvente, esse quesito tem ainda maior impacto quando a edificação/ espaços possuem áreas pequenas, em diferentes geometrias, é muito maior que para áreas grandes (PESSOA, 2009).

A compactidade de projeto está fortemente relacionada com a economia de planos verticais (perímetro externo), elemento que representa o maior custo da edificação. Segundo Mascaró (2010) o custo pode ser dividido em: planos horizontais (25%), planos verticais (45%), instalações em geral (25%) e canteiro de obras e outros trabalhos (5%). Dos 45% do custo total referente aos planos verticais, este valor é composto:

- dos materiais, componentes e sistemas construtivos empregados na construção: aumentando o custo do metro quadrado da parede;
- do tamanho médio dos locais: fator determinante na quantidade média das paredes por metro quadrado construído; e
- da forma dos compartimentos e do edifício/ grau de compactidade: que influi decisivamente na quantidade média de paredes por metro quadrado construído.

3.2.1.1 Índice de Compactidade (IC)

A compactidade de um projeto pode ser expressa através do índice de compactidade (IC) definido por Rosso (1978), como a relação percentual que se estabelece entre o perímetro de um círculo de igual área do projeto e o perímetro de paredes exteriores do projeto, o que é demonstrado na Equação 1. Esse índice foi definido na década de 70 pelo *Building Performance Research Unit* da universidade escocesa de Strathclyde.

$$IC = \frac{2\sqrt{A_p \cdot \pi}}{P_p} \times 100$$

Equação 1

Onde:

IC = índice de compacidade;

A_p = superfície do projeto – área da planta baixa;

P_p = perímetro das paredes exteriores do projeto.

Vale salientar, que quanto mais próximo do valor máximo do índice, no círculo que é 100, menores seriam os custos de construção, sendo que o índice da geometria do quadrado é 88,6, tal valor dificilmente é atingido pelo tipo arquitetônico dos projetos típicos (ROSSO, 1978).

Como definição de compacidade, Rocha (2014, p. 3) estabelece como “a capacidade que as formas têm de envolver uma maior quantidade de conteúdo com menor quantidade de matéria continente”. Ainda Rocha (2014) enfatiza que compacto não significa pequeno, onde, em arquitetura, é a possibilidade da geometria de abranger mais área construída em proporção à quantia de envoltório externo (fachada).

Em estudo realizado por Silva Jr. (2010) com edificações residenciais de múltiplos pavimentos de incorporadoras nas cidades de Brasília e Goiânia, num total de 29 projetos analisados, apenas 2 apresentam índice de compacidade maior que 65%, sendo que o autor considera como indicador o valor abaixo de 65% como ruim, entre 65% e 75% bom e acima de 75% como ótimo.

3.2.1.2 Índice Econômico de Compacidade (IeC)

A partir de uma revisão feita por Mascarió (2010), o índice de compacidade teve incorporado o número de arestas e perímetros curvos de fachadas, em função do maior custo de execução destes, passando à denominação de Índice Econômico de Compacidade (IeC), conforme Equação 2.

$$IeC = \frac{2\sqrt{A_p \cdot \pi}}{P_{ep}} \times 100$$

Equação 2

Onde:

IeC = índice econômico de compacidade;

A_p = superfície do projeto;

P_{ep} = perímetro econômico do projeto.

O valor do P_{ep} da Equação 2 é calculado separadamente pela fórmula da Equação 3, sendo que é este valor que difere o IeC do IC , devido a ponderar arestas e curvas no perímetro.

$$P_{ep} = P_{pr} + 1,5 P_{pc} + \frac{nA}{2} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

P_{ep} = perímetro econômico do projeto.

P_{pr} = perímetro das paredes exteriores retas;

P_{pc} = perímetro das paredes exteriores curvas;

nA = número de arestas das fachadas.

Embora esse índice tenha sido amplamente utilizado para a relação entre forma arquitetônica e custo, poucos estudos tem o intuito de relacionar esse parâmetro com os impactos ambientais decorrentes das edificações, podendo-se citar, estudo que relaciona o índice econômico de compactidade com a energia incorporada (EI) e emissões de CO_2 (SCHNECK et al., 2014). Também mencionar o estudo que pondera uma relação entre o IeC e a geração de resíduos, além de outras variáveis, onde a maior compactidade do prédio tende a gerar menos quantidade de resíduos, uma vez que o consumo de materiais de construção é diminuído (DIAS, 2013; KERN et al, 2015).

Na mesma lógica, em pesquisa aplicada a EHIS, Schneck (2013) com objetivo de investigar a influência do tipo arquitetônico não só em custo, mas também em impactos ambientais e em quesitos de habitabilidade, relacionou o IeC de projetos com a energia incorporada e a emissão de CO_2 , em função dos quantitativos de materiais. Os resultados mostram reduções de aproximadamente 7% EI e 8% de emissões de CO_2 em decorrência de aumento de IeC do projeto, mantendo-se o mesmo sistema construtivo e programa de necessidades. Assim, o autor conclui que decisões oriundas do projeto, ou seja, aspectos relacionados à forma do tipo arquitetônico causam diminuição dos impactos ambientais, redução também dos custos e o aprimoramento da habitabilidade (SCHNECK, 2013).

3.2.2 Sistemas construtivos em EHIS

Quanto à predominância do sistema construtivo empregado em habitações de interesse social, Silva (2012), em pesquisa aplicada a região metropolitana de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul, num total de 98 estudos de caso apontou que 81,63% utiliza como sistema construtivo a alvenaria portante de blocos cerâmicos ou de concreto.

O sistema construtivo de paredes de concreto também tem sido utilizado neste segmento, em obras de grande escala de repetição (PEDROSO et al., 2014). É caracterizado pela execução de paredes estruturais moldadas no local e/ou lajes de concreto armado, com sistema de fôrmas removíveis, geralmente metálicas, com espessura mínima de 10cm e altura igual ao pé direito de cada unidade habitacional, onde as instalações podem ou não ser embutidas na parede (SINAT/DATec n° 001, 2011).

Quanto à densidade e aplicação SINAT/DATec n° 001 (2011) faz-se as seguintes ponderações:

- sistema construtivo com utilização de concreto normal (densidade em torno de 2300 kg/m^3): para construção de casas térreas unifamiliares, sobrados unifamiliares, edifícios de multipavimentos, multifamiliares e casas sobrepostas;
- sistema construtivo que emprega concreto com ar incorporado (densidade em torno de 1900 kg/m^3): só deve ser utilizado para construção de casas térreas unifamiliares, sobrados unifamiliares, casas sobrepostas e edifícios multifamiliares apenas com térreo mais um pavimento.

O alto custo das fôrmas é uma característica importante deste sistema, sendo recomendado para obras com no mínimo 800 unidades (PEDROSO; SPOSTO, 2013). Desta forma, para que o sistema seja competitivo e para obter melhor otimização, necessita-se manter o foco no planejamento (RIGUEIRA, 2014). Esse sistema de painéis de concreto moldado *in loco*, tecnologia em crescente inserção na construção de HIS no Brasil em obras de grande escala de repetição, no entanto, requer avaliação do seu desempenho em relação ao consumo de energia (PEDROSO et al., 2014).

4 MÉTODO DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa utilizada consiste no estudo de caso, tendo como objeto de estudo cinco projetos de prédios de empreendimentos de habitação de interesse social, a seguir descritos. A análise dos aspectos ambientais será feita tendo como escopo o limite referente aos materiais de construção, ou seja, como identificado na Figura 3 de Tavares (2006), será considerado do “berço” ao “portão”, limitando-se à fase anterior ao transporte dos insumos ao canteiro de obras.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS PROJETOS ESTUDADOS

Ao todo foram analisados projetos arquitetônicos de cinco prédios de EHIS, sendo que quatro deles pertencem ao Programa Minha Casa Minha Vida.


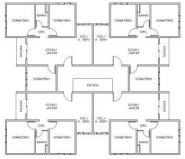
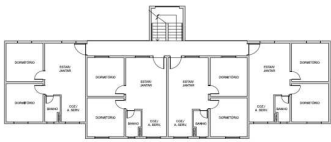
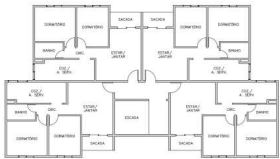
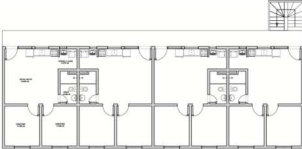
O primeiro, denominado P1, é um empreendimento situado na cidade de São Leopoldo (RS), estudado por Schneck (2013), o qual é tido como base para análises e comparações. Os três projetos subsequentes, no estudo denominados P2, P3 e P4, consistem em empreendimentos construídos na cidade do Rio de Janeiro (RJ), utilizados por serem os mesmos empreendimentos analisados pela equipe de pesquisadores da UFF que participam do projeto de pesquisa no qual este trabalho se insere. Já o último, denominado P5, foi proposto por Schneck (2013) para São Leopoldo (RS) e se trata de uma simulação realizada a partir do P1, com alteração da forma arquitetônica a fim de aumentar o IeC, preservando mesma área de pavimento, mesmo número de unidades habitacionais com mesmo programa.

Além da disponibilidade e acesso as informações aos projetos e outros documentos, dois critérios nortearam a escolha dos projetos:

- similaridade em termos de programa da unidade habitacional, áreas (prédio e pavimento) e sistema construtivo;
- diferença na forma do prédio, medida através do índice de compacidade.

A Tabela 3 apresenta características dos projetos analisados nessa pesquisa.

Tabela 3 – Síntese Projetos.

| | Nº Pav. | Planta baixa do pavimento tipo (sem escala) | Área edifício (m ²) | Área/ pavimento (m ²) |
|---------|---------|---|--|--|
| P1 (RS) | 5 pav. |  | 1.020,00m ² | Térreo: 204,00 m ² Tipo: 204,00 m ² |
| P2 (RJ) | 5 pav. |  | 1.058,32m ² | Térreo: 220,72 m ² Tipo: 209,40 m ² |
| P3 (RJ) | 5 pav. |  | 1.028,28.m ² | Térreo: 210,00 m ² Tipo: 204,57 m ² |
| P4 (RJ) | 4 pav. |  | Existente: 851,11 m ² | Térreo: 221,77 m ² Tipo: 209,78 m ² |
| | | | Considerada área para 5 pav: 1.049,37m ² | |
| P5 | 5 pav. |  | 1.020,00m ² | Térreo: 204,00 m ² Tipo: 204,00 m ² |

Fonte: adaptado de projetos completos contidos nos Apêndice A.

A partir das características dos cinco empreendimentos observa-se que todos possuem 4 apartamentos por pavimento, tanto no térreo como no pavimento tipo. Quatro dos cinco projetos possuem 5 pavimentos, exceto o P4 que possui apenas 4, mas, no estudo foram considerados 5 pavimentos a fim de possibilitar a comparação com os demais projetos.

Em sua maioria, as unidades habitacionais possuem 2 dormitórios, apenas o P2 apresenta a variação com unidades de 3 dormitórios. Vale destacar também que no P2 e P4 os apartamentos possuem sacadas privativas, que estão contempladas no cômputo da área total do pavimento. Já quanto a área do pavimento tipo, há variação entre 204,00 m² e 209,78 m², o que significa um intervalo de 5,78 m².

Para o cálculo de materiais, os projetos foram padronizados quanto a altura de pé-direito, adotando-se 2,60 m e laje de entrelaje e de cobertura de 10 cm. Outras características definidas como comuns a todos os projetos quanto a materiais e acabamentos: 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.

4.2 ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A pesquisa desenvolvida foi organizada segundo as etapas sintetizadas no delineamento da pesquisa demonstrado na Figura 4.

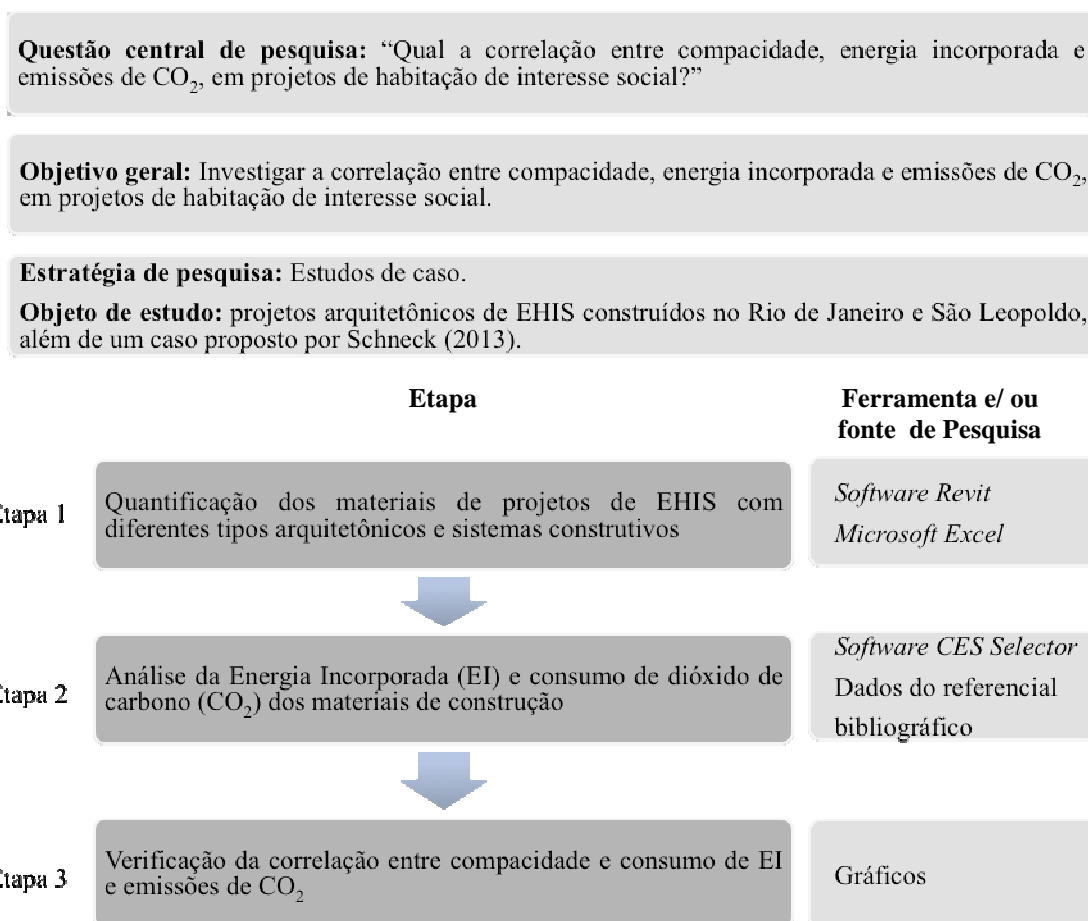


Figura 4 – Delineamento da pesquisa

4.2.1 Etapa 1: quantificação dos materiais

A pesquisa teve seu início com a modelagem dos projetos no software Revit (Autodesk), programa com a tecnologia BIM (*Building Information Modeling*). Os projetos e informações para o desenvolvimento do P2, P3 e P4 foram disponibilizados pela Caixa Econômica Federal, dos P1 e P5 foram obtidos na pesquisa de Schneck (2013).

Esta atividade foi realizada com o propósito de quantificar o consumo de materiais necessários para construção de cada prédio, gerando assim uma lista preliminar de

materiais e seus respectivos quantitativos em diferentes unidades (massa, área, volume, comprimento).

Com base nessa lista, se estruturou uma nova lista de materiais organizada de acordo com as etapas de obra, envolvendo os serviços presentes na Tabela 4, tendo como parâmetro o orçamento do P1, disponibilizado pela empresa construtora e extraído da pesquisa de Schneck (2013), que inclui uma margem de perda de materiais. Seguindo assim, a estrutura utilizada nas pesquisas de Tavares (2006) e Lobo (2010) que também fazem uso da planilha de serviços de uma obra para organizar os materiais. Nesta lista, as quantidades de materiais foram transformadas para massa (kg), utilizando, quando necessário, dados de densidades utilizados na pesquisa de Tavares (2006).

Tabela 4 – Planilha de serviço de obra

| Composição | Descrição | Obs. |
|-------------------|-----------------------------------|-------------|
| 1 | Serviços preliminares | 1 |
| 1.1 | Locação da obra | 1 |
| 1.2 | Tapume de tábuas com portão | 1 |
| 1.3 | Abrigo provisório | 1 |
| 2 | Estrutura | |
| 2.1 | Infraestrutura | 1 |
| 2.2 | Supraestrutura | |
| 2.3 | Escada | 1 |
| 3 | Alvenarias | |
| 3.1 | Painéis e paredes | |
| 3.2 | Revestimento de parede | |
| 4 | Acabamento de parede | |
| 5 | Esquadrias | 2 |
| 6 | Cobertura e proteções | |
| 6.1 | Telhado | |
| 6.2 | Proteções | |
| 6.3 | Forros | |
| 7 | Pisos | |
| 8 | Instalações | 2 |
| 9 | Pintura | |
| 9.1 | Pintura forros e paredes internas | |
| 9.2 | Pintura paredes externas | |
| 8.3 | Pintura em esquadrias madeira | |
| 10 | Serviços complementares | |

Fonte: Adaptado de Schneck (2013)

As observações apontadas na Tabela 4, quanto aos insumos da referida etapa, dizem respeito a:

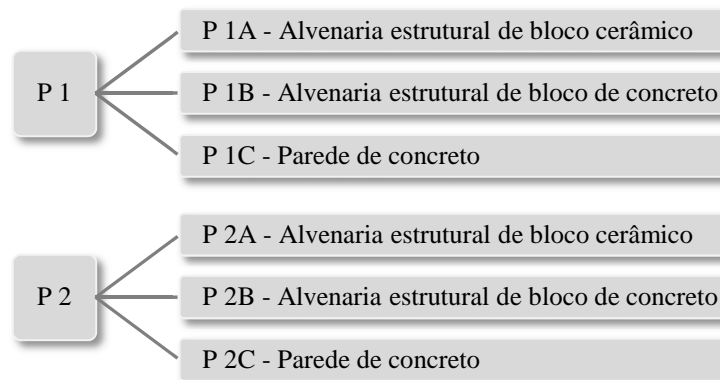
- observação 1: considerados os mesmos valores para os 5 projetos, tendo como base P1;
- observação 2: materiais não considerado nas etapas que seguem.

Ainda para a quantificação dos materiais faz-se necessárias algumas considerações:

- para alguns materiais que não se obteve as quantidades no Revit, foram extrapoladas comparações com quantitativo de P1, como: argamassa de assentamento dos blocos, fôrmas e escoras para lajes e vigas, impermeabilização e estrutura de madeira para telhado;
- para os serviços preliminares, infraestrutura e escada foram considerados os mesmos valores para os 5 projetos, tendo como base P1 (conforme observação 1 da Tabela 4);
- foram excluídos do cômputo os materiais referentes a esquadrias (conforme observação 2 da Tabela 4) por serem diferentes em cada projeto;
- também desconsiderados os materiais de instalações elétricas e hidráulicas (conforme observação 2 da Tabela 4), pelo não acesso aos projetos específicos, além do fato, como justificado por Sposto e Paulsen (2014), da pequena dimensão dos materiais, em termos de quantidade em HIS.

Num primeiro momento os projetos foram analisados considerando-se o sistema construtivo original, em alvenaria estrutural de bloco cerâmico. A fim de investigar diferenças de impactos ambientais de diferentes sistemas construtivos, os dados de materiais referentes a alvenaria foram simulados com mais duas alternativas: alvenaria estrutural de blocos de concreto; e parede de concreto.

Desta forma, totalizou-se 15 projetos para análise, conforme demonstrado no esquema que segue na Figura 5.



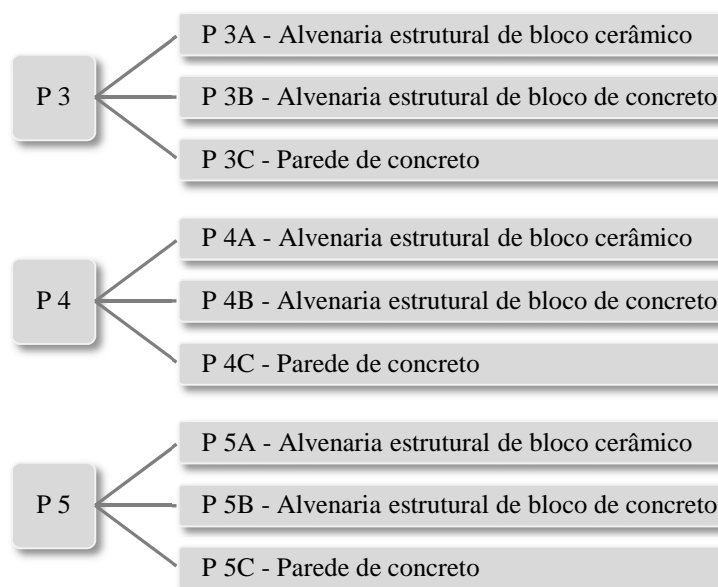


Figura 5 – Denominação dos projetos com respectivos sistemas construtivos

Para o quantitativo dos materiais da segunda alternativa de alvenaria estrutural, em bloco de concreto, foi estimado o quantitativo inicial em m³ dos blocos cerâmicos e calculados os materiais (cimento, areia e pedra britada), a partir do traço de blocos de concreto proposto por Andolfato (2002), conforme Tabela 5, tendo em vista que o material bloco de concreto não se encontra na base de dados do programa que será utilizado na etapa subsequente, desta forma optou-se em segregá-lo nos materiais que o compõem.

Tabela 5 – Composição do traço para os blocos de concreto.

| Materiais | Massa (kg) | Umidade dos materiais (%) | Massa real da mistura (kg) | Proporção por parte de cimento |
|------------------|-------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Cimento | 40 | - | 40 | 1,00 |
| Areia | 213 | 7% | 213 | 5,33 |
| Pedrisco | 132 | 5% | 132 | 3,29 |
| Água | 7 | - | 28* | 0,71 |

* Estando computadas as quantidades de água presentes na areia e no pedrisco.

Fonte: Andolfato (2002, p. 39).

Já para o quantitativo dos materiais do sistema construtivo de parede de concreto, adotou-se a espessura de 10cm para a parede, que representa a espessura mínima prevista por SINAT/DATEc n° 001 (2011), alterando-se esta especificação na modelagem no *software* Revit. Isso originou um quantitativo em m³ de concreto e com a massa específica chegou-se ao quantitativo em kg. Já a armadura foi estimada traçando um paralelo com base em um

projeto da empresa construtora responsável pelo P1, utilizando-se a taxa total de armadura em kg/m^2 .

Quanto às paredes de concreto, como na pesquisa de Gouveia (2013), não considerou-se revestimento porque com o uso de fôrmas metálicas o acabamento final necessita apenas de aplicação de pintura diretamente na superfície. Além disso, não foi considerado no sistema de paredes de concreto as fôrmas para execução das paredes, devido à variação no número de repetições, que altera de acordo com a escala dos empreendimentos, e por ter aplicação temporária, não permanecendo na edificação.

Paralelo a isso, foi calculado o índice econômico de compacidade (IeC), empregando a Equação 2, de cada um dos cinco projetos base (P1, P2, P3, P4 e P5), com intuito de possibilitar os comparativos nas etapas subsequentes, os quais se aplicam aos 15 projetos em estudo.

4.2.2 Etapa 2: análise da EI e emissões de CO₂

Considerando-se os 15 estudos de caso, desta forma, tanto os 5 projetos base como os com as propostas de sistema construtivo já descritos, com o quantitativo dos materiais, prosseguiu-se com a análise dos impactos ambientais.

Para a análise da energia incorporada e as emissões de CO₂ devido à fabricação dos materiais quantificados nos 15 projetos foi utilizado o *software CES Selector*, empregando-se também o módulo *Constructor*, que é a parte do programa que permite a personalização da base de dados, possibilitando inserir características próprias dos estudos analisados e especificações locais, tendo em vista que o programa não é específico para a construção civil. Ainda utilizou-se a ferramenta *Eco Audit Tool*, que viabiliza uma análise dos impactos ambientais de produtos ao longo do seu ciclo de vida.

Optou-se por utilizar a base de dados de um programa, tendo em vista a dificuldade e complexidade de obtenção de dados empiricamente e pela pouca disponibilidade de dados na bibliografia. O *software CES Selector* foi escolhido porque dispõe de dados relativos a diferentes aspectos ambientais: energia e os materiais consumidos, a geração de calor e resíduos sólidos, líquidos e emissões gasosas em cada fase da vida, possibilitando a delimitação do escopo de pesquisa. O programa utiliza como indicador para as decisões de projeto o consumo de energia e a geração de CO₂, considerando o acordo internacional no compromisso de uma redução progressiva das emissões de carbono, geralmente interpretados

no sentido de emissões de CO₂ e redução do consumo de energia, aspectos, intimamente relacionados, onde normalmente, reduzindo-se um geralmente reduz o outro (ASHBY, 2012).

Conforme Ashby, Bréchet e Cebon (2002), criadores do programa, o *Cambridge Engineering Selector* busca não analisar os insumos isoladamente, mas se propõem a auxiliar o projetista ao longo do ciclo de vida do produto, auxiliando nas estratégias de decisões relativas à escolha de materiais e processos, onde as entradas devem ser precisamente detalhadas. Djassemi (2012), ao utilizar o *software* em sua pesquisa, aponta que os resultados indicam a eficácia do uso dele como uma base de dados e ferramenta computacional para seleção de materiais e de tomada de decisão, gerando os dados quantitativos para medir o desempenho ambiental e avaliar o ciclo de vida do produto, ou de parte dele. Segundo o autor, a tarefa de lidar com um grande número de opções de materiais e um grande volume de dados é muito dificultada sem o apoio de um programa computacional.

Para a inserção de materiais não presentes na base de dados do programa, criou-se uma nova base denominada “locais”, tendo como referências os inventários de EI e emissão de CO₂ dos materiais de construção de Tavares (2006) e Lobo (2010): areia, telha de fibrocimento e tintas.

Vale ressaltar que as estimativas de emissões referem-se à fase pré-operacional das edificações, conforme delimitação proposta para o estudo, contemplando as etapas de: insumos; prospecção, fabricação e transporte de insumos e fabricação de materiais de construção.

4.2.3 Etapa 3: correlação entre compacidade e consumo de EI e emissões de CO₂

Após a obtenção dos dados de consumo de EI e emissões de CO₂ dos projetos em estudo, estruturou-se gráficos para comparar os resultados, relacionando o IeC resultante das decisões de projeto quanto ao tipo arquitetônico, ao consumo de EI e emissões de CO₂.

5 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No decorrer deste capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos no desenvolvimento do trabalho, estruturados em três subdivisões que equivalem às etapas da metodologia de pesquisa.

5.1 ETAPA 1: QUANTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

Os projetos modelados no *software* Revit se encontram no Apêndice A deste trabalho, onde são apresentadas as plantas e respectivo corte ou fachada do prédio, juntamente com o quantitativo inicial de materiais, gerado no programa.

A título ilustrativo, a Tabela 6 apresenta parte do quantitativo de materiais do projeto P1A (Projeto 1 com alvenaria estrutural de bloco cerâmico), com totais em massa (kg), dos materiais referentes aos serviços preliminares, estrutura, e alvenarias. O resultado dos demais serviços, assim como o resultado do quantitativo dos demais projetos estão apresentados no Apêndice B deste trabalho.

Tabela 6 – Planilha de serviço de obra – P 1A

| P 1A (projeto-base) | | | | | |
|---------------------|---|----------|----------------|----------|-------------------|
| Serviço | Qtd | Und | Densida- de | Total kg | |
| 1 | Serviços preliminares | | | | |
| 2 | Estrutura | | | | |
| 2.1. | Infraestrutura | | | | |
| 2.1.1. | Baldrames e fundações | | | | |
| | Tábuas de pinho para fundações e=15mm (5x) | 1,80 | m ³ | 600 | 1.080,00 |
| | Aço - armadura CA-50 d=1/4 a 3/8 | 1.080,00 | Kg | | 1.080,00 |
| | Impermeabilização baldrames - 3 demãos | 30,00 | Kg | | 30,00 |
| 2.1.2. | Concreto estrutural fck 21 Mpa | | | | |
| | Areia média lavada | 6,83 | m ³ | 1.515 | 10.350,00 |
| | Pedra britada 1 | 8,36 | m ³ | 1.650 | 13.800,00 |
| | Cimento Portland | 1,77 | m ³ | 1.950 | 3.450,00 |
| 2.2. | Supraestrutura | | | | |
| 2.2.1. | Vigas e lajes | | | | |
| | Forma chapa compensada resinada e=12mm (3x) | 18,48 | m ³ | 720 | 13.302,14 |
| | Escoras madeira d=10cm | 19.908,0 | Kg | | 19.908,00 |
| | Pregos aço 18x27 | 26,00 | Kg | | 25,00 |
| | Aço - armadura CA-50 d=1/4 a 3/8 | 9.699,48 | Kg | | 9.699,48 |
| | Aço - armadura CA-60 d=1/4 a 3/8 | 4.156,92 | Kg | | 4.156,92 |
| 2.2.2. | Concreto estrutural fck 21 Mpa | | | | |
| | Areia média lavada | 87,65 | m ³ | 1.515 | 132.790,50 |
| | Pedra britada 1 | 107,31 | m ³ | 1.650 | 177.054,00 |
| | Cimento Portland | 22,70 | m ³ | 1.950 | 44.263,50 |

| | | | | | |
|-------------|--|--------|----------------|-------|-------------------|
| 2.3. | Escada | | | | |
| 2.3.1. | <i>Escada concreto</i> | 5,00 | m ³ | | |
| | Areia média lavada | 2,85 | m ³ | 1.515 | 4.312,50 |
| | Pedra britada 1 | 3,48 | m ³ | 1.650 | 5.750,00 |
| | Cimento Portland | 0,74 | m ³ | 1.950 | 1.437,50 |
| | Aço - armadura CA-50 d=1/4 a 3/8 | 500,00 | kg | | 500,00 |
| 2.3.2. | <i>Guarda-corpo h=90cm</i> | | | | |
| | Grade de ferro (20 m ²) | 0,52 | m ³ | 7.870 | 4.092,40 |
| | Corrimão de ferro (80 m) | 3,20 | m ³ | 7.870 | 25.184,00 |
| 3 | Alvenarias | | | | |
| 3.1. | Paredes e painéis | | | | |
| 3.1.1. | <i>Blocos e tijolos</i> | | | | |
| | Blocos cerâmicos | 241,90 | m ³ | 1.400 | 338.660,00 |
| 3.1.2. | <i>Argamassa assentamento blocos 1:2:8</i> | 22,24 | m ³ | - | |
| | Areia média lavada | 21,06 | m ³ | 1.515 | 31.902,65 |
| | Cal hidratada CH III | 5,31 | m ³ | 1.500 | 7.971,16 |
| | Cimento Portland | 2,05 | m ³ | 1.950 | 3.994,58 |
| 3.2 | Revestimento de paredes | | | | |
| 3.2.1 | <i>Chapisco traço 1:3</i> | 5,81 | m ³ | - | |
| | Areia média lavada | 5,35 | m ³ | 1.515 | 8.104,95 |
| | Cimento Portland | 1,28 | m ³ | 1.950 | 2.487,66 |
| 3.2.2 | <i>Massa única (emboço) 1:2:9</i> | 11,62 | m ³ | - | |
| | Areia média lavada | 10,70 | m ³ | 1.515 | 16.209,90 |
| | Cal hidratada CH III | 2,40 | m ³ | 1.500 | 3.602,20 |
| | Cimento Portland | 0,92 | m ³ | 1.950 | 1.801,10 |
| 4 | Acabamento de parede | | | | |
| 5 | Esquadrias | | | | |
| 6 | Cobertura e proteções | | | | |
| 7 | Pisos | | | | |
| 8 | Instalações | | | | |
| 9 | Pintura | | | | |
| 10 | Serviços complementares | | | | |

Fonte: adaptado da planilha completa contida no Apêndice B.

A Tabela 7 apresenta os quantitativos de materiais agrupados para os cinco projetos em alvenaria estrutural de bloco cerâmico (A), organizados em ordem alfabética. A seguir, na são apresentados os materiais cujas quantidades se diferenciam em função do sistema construtivo estudado, pertencentes ao serviço de alvenaria. Na Tabela 8 são listados os materiais necessários para a realização dos cinco projetos considerando a alvenaria estrutural com blocos de concreto (B) e na Tabela 9, o sistema construtivo com paredes de concreto (C).

Tabela 7 – Quantitativo de materiais totais dos projetos com alvenaria de bloco cerâmico (A)

| Sistema construtivo com bloco cerâmico Materiais | P 1A | P 2A | P 3ª | P 4A | P 5A |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Total kg | Total kg | Total kg | Total kg | Total kg |
| Blocos cerâmicos | 338.660,00 | 329.266,00 | 312.606,00 | 287.151,17 | 266.616,00 |
| Areia média lavada | 54.402,21 | 52.629,37 | 49.966,46 | 45.897,80 | 40.695,51 |
| Cimento Portland | 8.049,68 | 7.829,08 | 7.432,95 | 6.827,70 | 6.053,82 |
| Cal hidratada CH III | 11.124,04 | 10.678,83 | 10.138,51 | 9.312,95 | 8.257,37 |
| Aço - arame galvanizado | 75,00 | 75,00 | 75,00 | 75,00 | 75,00 |
| Aço - armadura CA-50 d=1/4 a 3/8 | 11.279,48 | 9.461,96 | 9.246,80 | 9.377,84 | 9.155,12 |
| Aço - armadura CA-60 d=1/4 a 3/8 | 4.156,92 | 3.377,98 | 3.285,77 | 3.341,93 | 3.246,48 |
| Algeroz chapa galvanizada | 1.450,84 | 1.259,61 | 1.175,15 | 1.098,37 | 1.055,04 |
| Areia média lavada | 202.601,70 | 170.158,65 | 166.649,30 | 167.322,92 | 162.768,84 |
| Azulejo | 5.880,00 | 4.906,80 | 4.818,72 | 4.309,20 | 3.801,60 |
| Cal hidratada CH III | 15.038,10 | 12.848,64 | 12.686,71 | 12.393,55 | 11.984,57 |
| Cerâmica comum | 25.245,96 | 21.669,87 | 21.419,07 | 21.262,64 | 20.871,66 |
| Chapa compensada resinada e=12mm | 432,00 | 432,00 | 432,00 | 432,00 | 432,00 |
| Cimento branco não estrutural | 477,75 | 398,68 | 391,52 | 350,12 | 308,88 |
| Cimento Portland | 53.593,20 | 44.802,97 | 43.782,13 | 44.259,71 | 43.104,31 |
| Corrimão de ferro (80 m) | 25.184,00 | 25.184,00 | 25.184,00 | 25.184,00 | 25.184,00 |
| Cumeeira p/ telha fibrocimento | 108,72 | 54,59 | 103,65 | 74,47 | 88,93 |
| Escoras madeira d=10cm | 19.908,00 | 16.177,58 | 15.735,97 | 16.004,91 | 15.547,79 |
| Forma chapa compensada resinada e=12mm (3x) | 13.302,14 | 10.809,55 | 10.514,47 | 10.694,18 | 10.388,74 |
| Forno PVC banheiros | 1.253,20 | 603,20 | 618,80 | 689,00 | 754,00 |
| Grade de ferro (20 m²) | 4.092,40 | 4.092,40 | 4.092,40 | 4.092,40 | 4.092,40 |
| Impermeabilização baldrame - 3 demãos | 30,00 | 30,00 | 30,00 | 30,00 | 30,00 |
| Impermeabilização banheiros | 12,00 | 5,80 | 5,95 | 6,63 | 7,25 |
| Lona contrapiso (polietileno alta densidade) | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 | 190,00 |
| Madeira – peroba | 1.756,80 | 1.756,80 | 1.756,80 | 1.756,80 | 1.756,80 |
| Pedra britada 1 | 201.204,00 | 168.027,08 | 164.099,60 | 166.491,48 | 162.426,00 |
| Pontalete madeira 3x3" cedro | 324,00 | 324,00 | 324,00 | 324,00 | 324,00 |
| Pregos aço 18x27 | 133,80 | 129,93 | 129,35 | 129,70 | 129,11 |
| Ripa madeira 10x50mm | 2,16 | 2,16 | 2,16 | 2,16 | 2,16 |
| Selador acrílico pigmentado | 412,44 | 407,32 | 304,04 | 297,38 | 421,51 |
| Tábua madeira 1x12" cedrinho | 900,00 | 900,00 | 900,00 | 900,00 | 900,00 |

| | | | | | |
|--|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Tábua madeira 1x9" cedrinho | 1.872,00 | 1.872,00 | 1.872,00 | 1.872,00 | 1.872,00 |
| Tábuas de pinho para fundações e=15mm (5x) | 1.080,00 | 1.080,00 | 1.080,00 | 1.080,00 | 1.080,00 |
| Telha fibrocimento ondulada 4mm | 4.703,23 | 4.122,53 | 4.019,30 | 4.148,38 | 4.062,72 |
| Tinta acrílica (2 demãos) | 341,64 | 263,02 | 210,60 | 234,00 | 178,78 |
| Tinta esmalte (2 demãos) | 120,00 | 71,76 | 64,30 | 64,30 | 64,30 |
| Tinta PVA látex (2 demãos) | 819,94 | 551,62 | 397,49 | 360,75 | 664,25 |
| Viga em madeira 60x120mm peroba | 324,00 | 324,00 | 324,00 | 324,00 | 324,00 |
| TOTAL | 1.010.541,34 | 906.774,76 | 876.064,97 | 848.363,42 | 808.914,93 |

Tabela 8 – Quantitativo de materiais para alvenaria dos projetos com bloco de concreto (B)

| Sistema construtivo com bloco de concreto | P 1B | P 2B | P 3B | P 4B | P 5B |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| Materiais das Alvenarias | Total kg | Total kg | Total kg | Total kg | Total kg |
| Areia média lavada | 322.062,99 | 312.865,57 | 297.035,39 | 272.848,44 | 251.416,13 |
| Cimento Portland | 50.264,94 | 48.870,65 | 46.397,92 | 42.619,84 | 39.571,95 |
| Cal hidratada CH III | 11.124,04 | 10.678,83 | 10.138,51 | 9.312,95 | 8.257,37 |
| Pedra britada 1 | 165.874,29 | 161.273,14 | 153.113,14 | 140.645,47 | 130.587,43 |
| TOTAL | 1.147.631,66 | 1.111.196,95 | 1.070.143,93 | 964.600,50 | 917.125,11 |

Tabela 9 – Quantitativo de materiais para paredes de concreto dos projetos (C)

| Sistema construtivo com parede de concreto | P 1B | P 2B | P 3B | P 4B | P 5B |
|---|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Materiais das paredes | Total kg | Total kg | Total kg | Total kg | Total kg |
| Painél de concreto 10cm (kg) | 400.660,00 | 393.760,00 | 337.180,00 | 345.920,00 | 314.410,00 |
| Armadura (kg) | 9.614,79 | 9.449,21 | 8.091,44 | 8.301,18 | 7.545,02 |
| TOTAL | 1.008.580,21 | 909.580,70 | 841.192,49 | 853.394,98 | 809.247,25 |

Comparando-se as Tabelas 7, 8 e 9, com os respectivos quantitativos de materiais, visualiza-se que há diferença de consumo de materiais em kg dentre os sistemas analisados. Os resultados indicam que o sistema que emprega alvenaria de bloco de concreto utiliza maior massa de material. Os resultados estão ao encontro dos dados extraídos na pesquisa de Mastella (2002), que compara o consumo de matérias-primas entre a alvenaria de blocos cerâmicos e de concreto e conclui que o bloco de concreto consome cerca de 60% a mais em termos de massa de material (kg) do que o cerâmico, considerando-se a mesma unidade funcional para comparação (MASTELLA, 2002).

Paralelo às quantificações referentes a materiais, realizou-se o cálculo do índice econômico de compacidade (IeC) de cada um dos cinco projetos iniciais, apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – IeC dos projetos

| | P 1 | P 2 | P 3 | P 4 | P 5 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| IeC | 49,40 | 54,44 | 62,71 | 64,21 | 72,12 |

A Figura 6 demonstra o gráfico que relaciona os resultados de consumo de materiais (kg) dos três sistemas construtivos, extraídos das Tabelas 7, 8 e 9, com o índice econômico de compacidade (IeC) de cada projeto (Tabela 10).

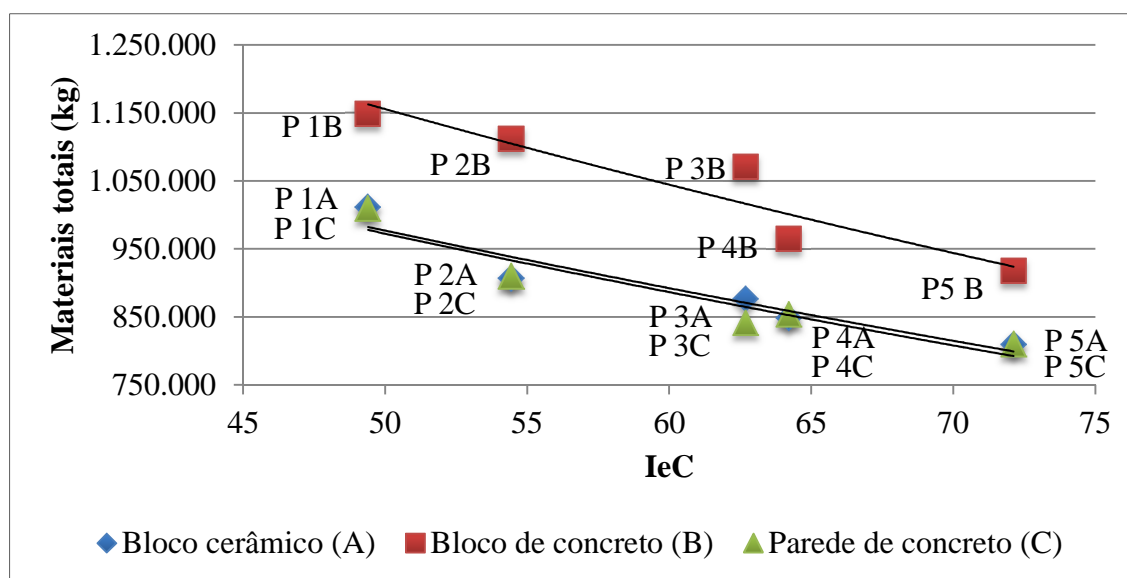


Figura 6 – Relação entre consumo de materiais e compacidade dos projetos

A partir do gráfico da Figura 6 é possível ver a tendência, para os três sistemas construtivos, de redução do consumo de materiais à medida que comparados ao aumento dos índices econômicos de compacidade dos projetos. Deste modo, quanto mais compacto o projeto, menor o consumo de materiais.

Comparando os dados entre os projetos com o mesmo sistema construtivo, a diferença entre o P1 e P5, projetos respectivamente com menor e maior compacidade, resulta em reduções aproximadas de 201.600kg, 230.500kg e 199.300kg de materiais (blocos cerâmicos, blocos de concreto e parede de concreto, respectivamente), as três apresentando diferença aproximada a 20%. Já ao confrontarmos o resultado de maior consumo P 1B (bloco de concreto), com o de menor consumo P 5A (bloco cerâmico), a redução em massa equivale aproximadamente a 338.700kg de materiais, cerca de 30%.

5.2 ETAPA 2: ANÁLISE DA EI E EMISSÕES DE CO₂

A Tabela 11 traz os valores totais de energia incorporada (EI) e emissões de CO₂ dos projetos, calculados a partir dos quantitativos dos materiais apresentados nas Tabelas 7, 8 e 9, considerando os projetos em alvenaria estrutural tanto de blocos cerâmico, como de blocos de concreto e paredes de concreto. Já a Tabela 12 apresenta os valores de EI e emissões de CO₂ ponderadas em relação às áreas construídas dos prédios. Os dados extraídos do *software CES Selector* quanto a EI e emissão de CO₂ de cada um dos projetos que originaram essas tabelas estão presentes no Apêndice C do trabalho.

Tabela 11 – Quantitativo de EI e emissões de CO₂ totais dos projetos – sistemas construtivos A, B e C.

| | A Bloco cerâmico | B Bloco de concreto | C Parede de concreto |
|-----------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| ENERGIA INCORPORADA | | | |
| Projetos (IeC) | EI (MJ) | EI (MJ) | EI (MJ) |
| P1 (49,40) | 12.400.000 | 3.330.000 | 3.560.000 |
| P2 (54,44) | 11.700.000 | 2.960.000 | 3.190.000 |
| P3 (62,71) | 11.200.000 | 2.880.000 | 3.040.000 |
| P4 (64,21) | 10.500.000 | 2.850.000 | 3.060.000 |
| P5 (72,12) | 9.920.000 | 2.810.000 | 2.990.000 |
| EMISSÕES DE CO₂ | | | |
| Projetos (IeC) | CO ₂ (kg) | CO ₂ (kg) | CO ₂ (kg) |
| P1 (49,40) | 1.580.000 | 305.000 | 300.000 |
| P2 (54,44) | 1.510.000 | 272.000 | 268.000 |
| P3 (62,71) | 1.440.000 | 265.000 | 255.000 |
| P4 (64,21) | 1.340.000 | 260.000 | 256.000 |
| P5 (72,12) | 1.250.000 | 254.000 | 250.000 |

Tabela 12 – Quantitativo EI e emissões de CO₂ por m² dos projetos – sistemas construtivos A, B e C.

| | A | B | C |
|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | Bloco cerâmico | Bloco de concreto | Parede de concreto |
| ENERGIA INCORPORADA | | | |
| Projetos (IeC) | EI (MJ/ m ²) | EI (MJ/ m ²) | EI (MJ/ m ²) |
| P1 (49,40) | 12.157 | 3.265 | 3.490 |
| P2 (54,44) | 11.055 | 2.902 | 3.014 |
| P3 (62,71) | 10.892 | 2.824 | 2.956 |
| P4 (64,21) | 10.006 | 2.794 | 2.916 |
| P5 (72,12) | 9.725 | 2.755 | 2.931 |
| EMISSIONES DE CO₂ | | | |
| Projetos (IeC) | CO ₂ (kg/ m ²) | CO ₂ (kg/ m ²) | CO ₂ (kg/ m ²) |
| P1 (49,40) | 1.549 | 299 | 294 |
| P2 (54,44) | 1.427 | 267 | 253 |
| P3 (62,71) | 1.400 | 260 | 248 |
| P4 (64,21) | 1.277 | 255 | 244 |
| P5 (72,12) | 1.225 | 249 | 245 |

Nas Tabelas 13 e 14, respectivamente, apresentam-se os percentuais de EI e CO₂ de cada material para os cinco projetos, em relação aos totais de energia incorporada e emissões de CO₂ total de cada projeto. O percentual total é referente aos insumos envolvidos no item alvenaria, de acordo com cada sistema construtivo. Como já mencionado, inclui tanto os blocos cerâmicos e de concreto, e está relacionada também a argamassa de assentamento dos blocos, chapisco e revestimento de massa única; nas paredes de concreto não foi considerado revestimento argamassado, pois a superfície só recebe pintura.

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|------------|------------|------------|------------|
| Pregos aço 18x27 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Ripa madeira 10x50mm | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Selador acrílico pigmentado | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,8 | 0,9 | 0,7 | 0,7 | 0,9 | 0,7 | 0,8 | 0,6 | 0,6 | 0,9 |
| Tábua madeira 1x12" cedrinho | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Tábua madeira 1x9" cedrinho | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| Tábuas de pinho p/ fundações e=15mm | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Telha fibrocimento ondulada 4mm | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Tinta acrílica (2 demãos) | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,4 |
| Tinta esmalte (2 demãos) | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Tinta PVA látex (2 demãos) | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 1,6 | 1,2 | 0,9 | 0,8 | 1,5 | 1,5 | 1,1 | 0,9 | 0,8 | 1,4 |
| Viga em madeira 60x120mm peroba | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |

Tabela 14 – Quantitativo de emissões de CO₂ dos materiais de construção (% do total do projeto) – sistemas construtivos A, B e C

| | A | | | | | B | | | | | C | | | | |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | P 1A | P 2A | P 3A | P 4A | P 5A | P 1B | P 2B | P 3B | P 4B | P 5B | P 1C | P 2C | P 3C | P 4C | P 5C |
| Alvenaria | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % |
| Blocos cerâmicos | 83,9 | 85,2 | 84,8 | 83,8 | 82,9 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Areia média lavada | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | - | - | - | - | - |
| Cimento Portland | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 15,7 | 17,1 | 16,7 | 15,6 | 14,8 | - | - | - | - | - |
| Cal hidratada CH III | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | - | - | - | - | - |
| Pedra britada 1 | - | - | - | - | - | 3,1 | 3,4 | 3,3 | 3,1 | 2,9 | - | - | - | - | - |
| Painel de concreto 10cm (kg) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 12,7 | 14,0 | 12,5 | 12,8 | 12,0 |
| Armadura (kg) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 5,8 | 6,4 | 5,7 | 5,9 | 5,5 |
| Percentual total alvenarias | 84,5 | 85,8 | 85,4 | 84,4 | 83,5 | 19,9 | 21,8 | 21,1 | 19,8 | 18,7 | 18,5 | 20,4 | 18,2 | 18,7 | 17,5 |
| Aço - arame galvanizado | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Aço - armadura CA-50 d=1/4 a 3/8 | 1,3 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 6,7 | 6,3 | 6,3 | 6,5 | 6,5 | 6,8 | 6,4 | 6,6 | 6,6 | 6,6 |
| Aço - armadura CA-60 d=1/4 a 3/8 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 2,5 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,5 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,4 |
| Algeroz chapa galvanizada | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 |
| Areia média lavada | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Azulejo | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 3,2 | 3,0 | 3,0 | 2,8 | 2,5 | 3,3 | 3,1 | 3,2 | 2,8 | 2,5 |
| Cal hidratada CH III | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 1,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 0,9 |
| Cerâmica comum | 2,7 | 2,4 | 2,5 | 2,7 | 2,8 | 13,8 | 13,3 | 13,5 | 13,7 | 13,7 | 14,1 | 13,5 | 14,0 | 13,9 | 14,0 |
| Chapa compensada resinada e=12mm | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Cimento branco não estrutural | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Cimento Portland | 3,2 | 2,8 | 2,9 | 3,2 | 3,3 | 16,7 | 15,7 | 15,7 | 16,2 | 16,2 | 17,0 | 15,9 | 16,3 | 16,4 | 16,4 |
| Corrimão de ferro (80 m) | 3,1 | 3,2 | 3,4 | 3,6 | 3,9 | 15,9 | 17,8 | 18,3 | 18,6 | 19,1 | 16,2 | 18,1 | 19,0 | 18,9 | 19,4 |
| Cumeeira p/ telha fibrocimento | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Escoras madeira d=10cm | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 2,5 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,5 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,3 |
| Forma chapa compens. resinada e=12mm | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 3,6 | 3,3 | 3,3 | 3,4 | 3,4 | 3,7 | 3,3 | 3,4 | 3,4 | 3,4 |
| Forro PVC banheiros | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 1,0 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 1,0 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,8 |
| Grade de ferro (20 m²) | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 2,6 | 2,9 | 3,0 | 3,0 | 3,1 | 2,6 | 2,9 | 3,1 | 3,1 | 3,2 |
| Impermeabilização baldrame - 3 demãos | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Impermeabilização banheiros | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Lona contrapiso (polietileno alta dens.) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Madeira – peroba | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| Pedra britada 1 | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 3,8 | 3,5 | 3,5 | 3,7 | 3,7 | 3,8 | 3,6 | 3,7 | 3,7 | 3,7 |
| Pontalete madeira 3x3" cedro | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Pregos aço 18x27 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Ripa madeira 10x50mm | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Selador acrílico pigmentado | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,6 | 0,7 | 0,5 | 0,5 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,8 |
| Tábua madeira 1x12" cedrinho | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Tábua madeira 1x9" cedrinho | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Tábuas de pinho p/ fundações e=15mm | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Telha fibrocimento ondulada 4mm | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Tinta acrílica (2 demãos) | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,3 |
| Tinta esmalte (2 demãos) | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Tinta PVA látex (2 demãos) | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 1,3 | 1,0 | 0,7 | 0,7 | 1,3 | 1,3 | 1,0 | 0,7 | 0,7 | 1,3 |
| Viga em madeira 60x120mm peroba | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |

Quanto à EI total dos projetos, o item alvenaria chega a representar de 75,4% a 78,8% tratando-se de alvenaria estrutural de bloco cerâmico, de 13,2% a 15,7% na alvenaria estrutural de bloco de concreto e corresponde de 18,7% a 21,9% nas paredes de concreto.

Em estudo aplicado à ACVE de HIS, Silva (2012, p. 128) “é possível aferir que menos de 10% dos insumos são responsáveis por cerca de 90% da energia incorporada à edificação na fase pré-operacional”.

Já quanto a emissões de CO₂ nos sistemas de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, alvenaria estrutural de blocos de concreto e paredes de concreto, os percentuais que representam no total são respectivamente de 83,5 a 85,8%; 18,7 a 21,8% e 17,5 a 20,4%.

Tratando-se de energia incorporada, a partir dos dados estudados, o sistema que demonstrou mais impacto é o de alvenaria estrutural de bloco cerâmico (A). Esses resultados são explicados pela maior quantidade de energia incorporada dos blocos cerâmicos em comparação a blocos de concreto, de acordo com a base de dados do programa de análise ambiental utilizado e por Tavares (2006).

Na comparação entre as mesmas três alternativas de sistemas construtivos investigados aqui, o estudo de Pedroso et al. (2014) aponta resultados que se diferenciam com os obtidos neste estudo, onde identificam que a energia incorporada referente aos materiais construtivos do sistema paredes de concreto ficou cerca de 8 vezes maior do que a alvenaria de bloco cerâmico e cerca de 14 vezes maior que a alvenaria de blocos de concreto. Isso porque, nessa pesquisa, foram consideradas as fôrmas de alumínio para a execução das paredes de concreto e sem o reuso das mesmas. Por outro lado também aponta o sistema que emprega bloco cerâmico como o que possui maior impacto em relação aos dois sistemas de alvenaria de blocos.

Quanto à EI referente aos projetos considerando as duas alternativas de alvenaria estrutural, tanto de blocos cerâmico como de concreto, os resultados que apontam que os blocos cerâmicos tem maior EI, corroboram com os estudos de Mastella (2002) e Sposto et al. (2006, apud SILVA, 2012). Com a finalidade de melhor entender as inter-relações da cadeia produtiva, Mastella (2002) sugere que o bloco de concreto é mais compatível com o meio ambiente na fase de produção dentro dos aspectos energéticos do estudo, utilizando ACV. Na mesma linha, de acordo com Sposto et al. (2006, apud SILVA, 2012, p. 31) “para a produção de um bloco cerâmico são necessários 3,92 megajoules (MJ), enquanto que para a produção de um bloco de concreto são necessários 2,90 MJ.”

Ainda quanto aos resultados das Tabelas 11 e 12, relacionando a Tabela 14, no que se refere a emissões de CO₂, o sistema responsável pelo maior impacto é o que emprega alvenaria estrutural de bloco cerâmico (A), justificado pelo fato do processo de fabricação do bloco cerâmico ser caracterizado pela significativa liberação de CO₂ durante a queima (MANFREDINI; SATTLER, 2005; LOBO, 2010).

5.3 ETAPA 3: CORRELAÇÃO ENTRE COMPACIDADE E EI E EMISSÕES DE CO₂

As Figuras 7, 8 e 9 demonstram os gráficos que relacionam a compacidade (IeC) dos projetos com energia incorporada (MJ/m²) e emissões de CO₂ (kg/m²), considerando-se respectivamente: alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, blocos de concreto e parede de concreto.

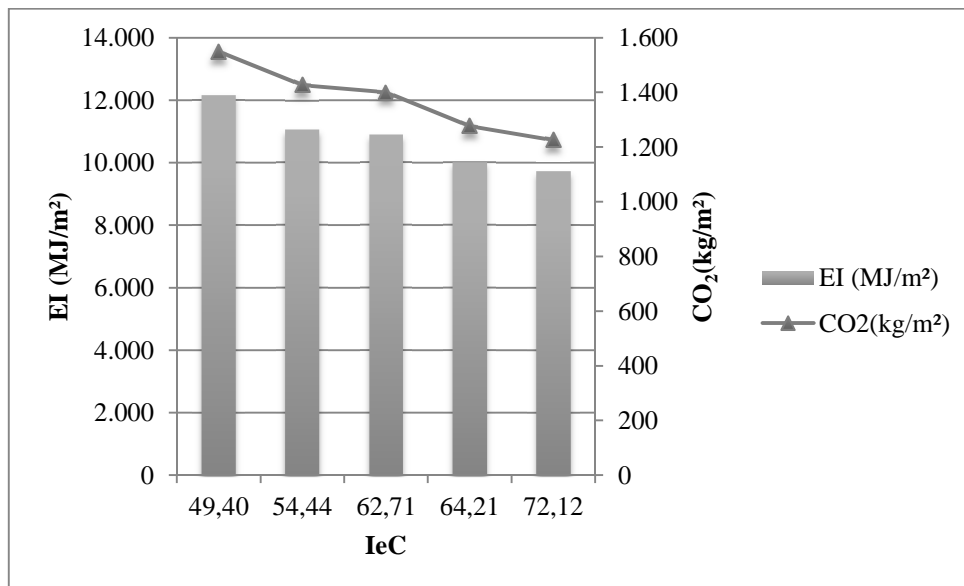


Figura 7 – Correlação entre compacidade (IeC), EI (MJ/m²) e Emissões de CO₂ (kg/m²) - Projetos com alvenaria de bloco cerâmico (A) .

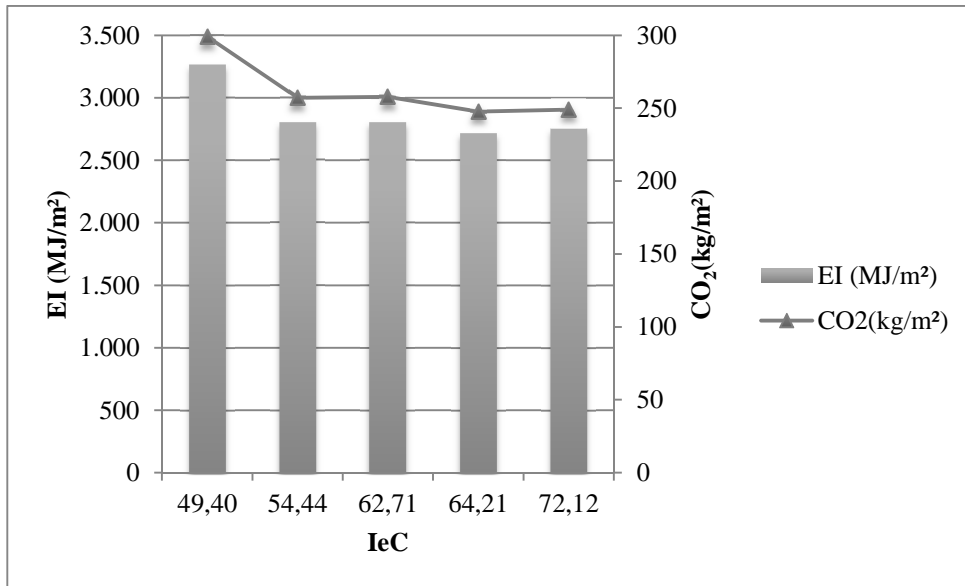


Figura 8 – Correlação entre compactidade (IeC), EI (MJ/ m²) e Emissões de CO₂ (kg/ m²) - Projetos com alvenaria de bloco de concreto (B).

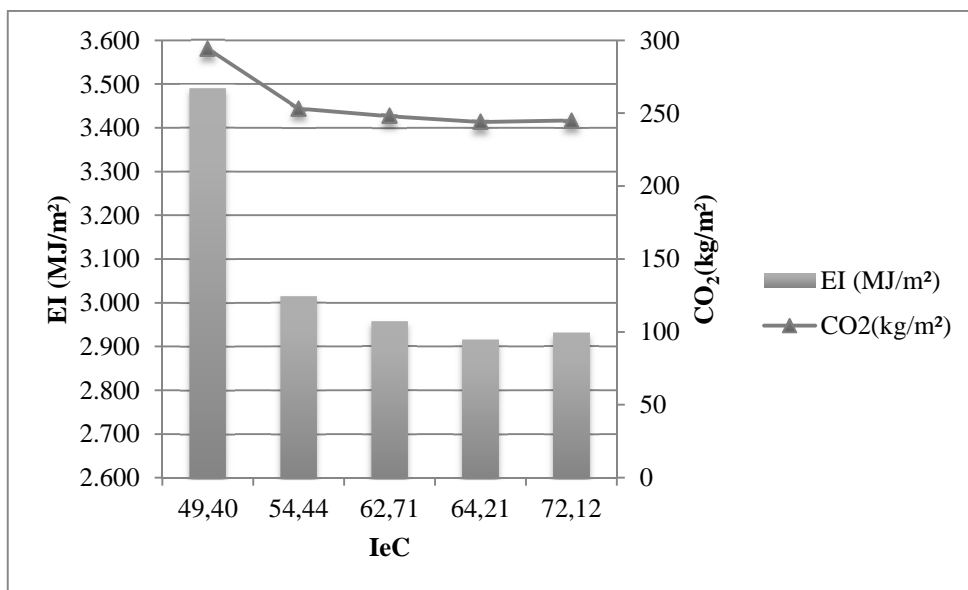


Figura 9 – Correlação entre compactidade (IeC), EI (MJ/ m²) e Emissões de CO₂ (kg/ m²) - Projetos com parede de concreto (C).

A partir dos gráficos das Figuras 7, 8 e 9, observa-se o mesmo comportamento de diminuição dos aspectos analisados (energia incorporada e emissões de CO₂) com o aumento da compactidade dos projetos. No entanto, os projetos com blocos cerâmicos apresentaram valores de EI e CO₂ significativamente maiores do que os com blocos de concreto ou paredes de concreto, apesar de não ser o sistema construtivo que emprega maiores quantitativos de massa de material, que é o sistema de parede de bloco de concreto (Figura 6).

Entre os projetos analisados, considerando a compactidade do projeto, comparando-se o que possui respectivamente o menor e o maior IeC , de 49,4 (P1) e 72,12 (P5), relacionando com mesmo sistema construtivo, obteve-se uma redução de 20% quanto a EI do P1 para P5 considerando sistema de alvenaria estrutural de bloco cerâmico (A) e redução de 16% no sistema de alvenaria de blocos de concreto (B) e no de paredes de concreto (C). Já quanto ao impacto das emissões de CO_2 , no mesmo comparativo entre P1 e P5, nos sistemas construtivos A a redução de P1 para P5 foi de aproximadamente 20% e no sistema B e C foi de 17%.

6 CONCLUSÃO

O trabalho realizado analisou questões ambientais referentes à forma de edifícios de habitação de interesse social, incluindo consumo de materiais (em massa - kg), energia incorporada e emissões de CO₂ decorrentes da fabricação dos materiais de construção. Para tanto, dados de cinco prédios foram levantados, considerando, para cada um, três sistemas construtivos: alvenaria estrutural de blocos cerâmicos (A), alvenaria estrutural de blocos de concreto (B) e, o terceiro, paredes de concreto (C). Os prédios analisados foram construídos pelo Programa Minha Casa Minha Vida e são muito similares em termos de áreas de construção (total e das unidades autônomas) e em termos de programa dos apartamentos. Variam, no entanto em termos de forma arquitetônica do prédio, que foi analisada em termos de índice econômico de compactidade.

Os resultados obtidos na análise de consumo de materiais mostram que os projetos mais compactos (maiores índices econômicos de compactidade) necessitam de menos massa de materiais, sendo a diferença encontrada na comparação entre o projeto de maior com o projeto de menor índice de compactidade, em torno de 20% em massa. Analisando os resultados por sistema estudado, o sistema construtivo que emprega alvenaria estrutural de blocos de concreto demonstrou ser o que utiliza maior massa de material dentre os analisados, e o consumo de massa de material entre os sistemas construtivos de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos e com paredes de concreto demonstrou ser muito semelhante. A diferença no consumo de materiais entre os projetos estudados chegou a 30% na comparação entre os três sistemas construtivos analisados.

Na análise da energia incorporada e emissão de CO₂, os resultados mostram diferença entre 16% a 20% considerando a compactidade dos projetos de um mesmo sistema construtivo, sendo que os projetos de maior índice de compactidade apresentam menor energia incorporada e menos emissões de CO₂.

Salienta-se, que decisões de projeto com relação à forma do tipo arquitetônico, relacionadas à compactidade do projeto e escolha do sistema construtivo causam reflexos diretamente relacionados a impactos ambientais, tanto quanto à energia incorporada quanto às emissões de CO₂ dos materiais empregados no projeto.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com intuito de prosseguir com as investigações sobre impactos ambientais das edificações, são realizadas as seguintes sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros:

- investigar outros impactos ambientais decorrentes da produção de edifícios, como o consumo de água;
- aprofundar as pesquisas de energia incorporada em materiais de construção no contexto brasileiro, incluindo as etapas de operação, manutenção e demolição;
- considerar além do índice de compactidade, na relação do projeto e sistemas construtivos utilizados em EHIS com energia incorporada e emissões de CO₂, o indicador densidade de paredes;
- ampliar o escopo do estudo, considerando o transporte dos materiais de construção até o canteiro de obras, principalmente para ter uma melhor comparação dos impactos dos sistemas construtivos analisados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley Moacyr. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. São Paulo: Blucher, 2011. 5 v.

ANDOLFATO, Rodrigo Piernas. **Desenvolvimento das técnicas de produção de blocos de concreto para alvenaria estrutural na escala (1:4)**. 2002. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Ilha Soteira, 2002.

ASHBY, Mike et al. The CES EduPack Eco Audit Tool. **Granta Design**, Cambridge, 2012. Disponível em <www.grantadesign.com>.

ASHBY, M. F.; BRÉCHET, Yves; CEBON, David. Selection strategies for materials and process. **Advanced Engineering Materials**, Reino Unido, v. 4, n. 6, p. 327-334, 2002.

ASSEFA, G. Environmental assessment of building properties -Where natural and social sciences meet: The case of EcoEffect. **Elsevier - Energy and Buildings**, v. 42, p. 1458-1464, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14031: Gestão ambiental – Avaliação de desempenho ambiental – Diretrizes**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2009a.

_____. **NBR ISO 14044: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações**. Rio de Janeiro, 2009b.

_____. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 16055: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro, 2012.

BERGE, Bjorn. Resources. In: BERGE, Bjorn. **The ecology of building materials** - Second edition. USA: Architectural Press - Elsevier Science, 2009. p. 3-28.

BISSOLI-DALVI, Márcia et al. 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, 2013.

BRANDÃO, Douglas Queiroz. 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, 2006.

BRASIL. **Balanco Energético Nacional. Ministério de Minas e Energia**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme>>. Acesso em: 11 março de 2014a.

_____. **Brasil na COP 15**. Disponível em <<http://www.cop15.gov.br/pt-BR/indexe293.html?page=panorama/matriz-energetica-limpa>>. Acesso em: 06 jun. 2014b.

_____. **Eficiência energética em habitações de interesse social.** Caderno 9. Brasília: Ministério das Cidades/Ministério de Minas e Energia, 2005.

_____. Ministério das Cidades. **Portaria nº 168, de 12 de abril de 2013.** Dispõe sobre as diretrizes gerais para aquisição e alienação de imóveis com recursos advindos da integralização de cotas no Fundo de Arrendamento Residencial - FAR, no âmbito do Programa Nacional de Habitação Urbana - PNHU, integrante do Programa Minha Casa, Minha Vida - PMCMV. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 71, 15 abr. 2013. Seção 1, p. 101-106. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=15/04/2013&jornal=1&pagina=106&totalArquivos=148>>. Acesso em 13 nov. 2013.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CEF). **Cartilha Minha Casa Minha Vida.** Brasília. Disponível em: <http://www.adh.pi.gov.br/minha_casa_minha_vida.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2013.

_____. **Crédito e transformação social.** 2011. Brasília: C. Drummond, 2011.

CARDOSO, Adauto Lucio; ARAGÃO, Thêmis Amorim; ARAUJO, Flávia de Sousa. **Habitação de interesse social: política ou Mercado? Reflexos sobre a construção do espaço metropolitano.** In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR, 14., 2011, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos encontros nacionais da Anpur.** Rio de Janeiro: Anpur, 2011. Disponível em: <<http://unuhoopedagem.com.br/revista/rbeur/index.php/anais/article/view/3082/3017>>. Acesso em: 23 ago.2013.

CARMINATTI JR., Riberto. **Análise do ciclo de vida energético de projeto de habitação de interesse social concebido em *light steel framing*.** 2012. 162 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, 2012.

CARVALHO, Michele Tereza Marques. **Metodologia para avaliação da sustentabilidade de habitações de interesse social com foco no projeto.** 2009. 241 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) - Programa de Pós-graduação Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

CARVALHO, Michele Tereza Marques; SPOSTO, Rosa Maria. 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, 2012.

DIAS, Michele Ferreira. **Modelo para estimar a geração de resíduos na produção de obras residenciais verticais.** 2013. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2013.

DJASSEMI, Manocher. A computer-aided approach to material selection and environmental auditing. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 23, n. 6, p. 704-716, 2012.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Políticas permanentes de habitação: a importância do Programa Minha Casa Minha Vida.** São Paulo, 2014.

GAUZIN-MÜLLER, Dominique. **Arquitetura ecológica.** Barcelona: Gustavo Gili, 2002.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK (GFN). The National Footprint Accounts, 2012 edition. Oakland, CA, USA, 2013. Disponível em: <http://www.footprintnetwork.org/images/article_uploads/National_Footprint_Accounts_2012_Edition_Report.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2014.

GOUVEIA, Hugo Leonardo Vilela. **Indicadores de desempenho de projetos em habitação de interesse social no Brasil**. 2013. 176 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Programa de Pós-graduação Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

GUERRA, Georgio Mathias; KERN, Andrea Parisi; STUMPF, Marco Aurélio. Empreendimentos de Habitação de Interesse Social: o desafio na relação área/custo. Teoria e Prática na Engenharia Civil, Rio Grande, n.14, p. 51-58, 2009.

HEINECK, Luiz Fernando Mahlmann ; FERNANDEZ, J. A. C. G. **Modelo para avaliação qualitativa de projetos arquitetônicos, sob a ótica do usuário**. Florianópolis, nov. 2004. Disponível em: <<http://www.sindusconfpolis.org.br/artigosCientificos>>.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **Climate Change 2014 - Synthesis Report**. [S.l.], 2014. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_All_Topics.pdf>

KERN, Andrea Parisi et al. Waste generated in high-rise buildings construction: A quantification model based on statistical multiple regression. **Waste Management**, Elmsford, v. 39, p. 35-44, 2015.

LIBRELOTTO, Diógenes; JALALI, Said. Aplicação de uma Ferramenta de Análise do Ciclo de Vida em Edificações Residenciais - Estudos de Caso. **Engenharia Civil - UM**, Guimarães, n. 30, p. 5-20, 2008.

LIMA, Lisiane Pedroso; FORMOSO, Carlos Torres; ECHEVESTE, Márcia Elisa Soares. Proposta de um protocolo para o processamento de requisitos do cliente em empreendimentos habitacionais de interesse social. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 21-37, 2011.

LOBO, Fernando Henrique Rodrigues. **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, 2010.

LOBO, Fernando Henrique Rodrigues; SANTOS, Adriana de Paula Lacerda; TAVARES, Sérgio Fernando. **Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial**, Florianópolis, v. 2, n. 2, p. 26-43, 2010.

LORDSLEEM JR., Alberto Casado; MELHADO, Silvio Burrattino. Análise de escopo do projeto para produção da alvenaria de vedação. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, SP, v. 6, n. 1, p. 3-14, 2011.

MANFREDINI, Constance; SATTTLER, Miguel Aloysio. Estimativa da energia incorporada a materiais de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 23-37, 2005.

MASCARÓ, Juan Luis. **O Custo das Decisões Arquitetônicas**. 5. ed. Porto Alegre: Masquatro, 2010.

MASTELLA, Deise Viana. **Comparação entre os processos de produção de blocos cerâmicos e de concreto para alvenaria estrutural, através de análise do ciclo de vida**. 2002. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MAYER, Rosirene. **A gramática da habitação mínima : análise do projeto arquitetônico da habitação de interesse social em Porto Alegre e Região Metropolitana**. 2012. 205 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

MCDONOUGH, William; BRAUNGART, Michael. A question of design. In: MCDONOUGH, William; BRAUNGART, Michael. *Cradle to Cradle: remaking the way we make things*. New York, USA: North Point Press, 2002. p. 17-44

MEDVEDOVSKI, Nirce Saffer. Diretrizes Especiais para Regularização Urbanística, Técnica e Fundiária de Conjuntos Habitacionais Populares. In: ABIKO, Alex Kenya; ORNSTEIN, Sheila Walbe (Ed.). **Inserção Urbana e Avaliação Pós-Ocupação (APO) da Habitação de Interesse Social**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002. cap. 6, p. 130-159.

MELHADO, Silvio Burrattino. **Gestão, cooperação e integração para um novo modelo voltado à qualidade do processo de projeto na construção de edifícios**. 2001. 235 f. Tese (Livre-Docência) - Departamento de Engenharia de Construção Civil - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2001.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Déficit Habitacional no Brasil 2008**. Brasília, 2011. Disponível em <http://www.habitatbrasil.org.br/media/5547/d_ficit_habitacional_no_brasil_2008.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2013.

_____. **Plano Nacional de Habitação**. Brasília, 2009. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNH/ArquivosPDF/Publicacoes/Publicacao_PlanHab_Capa.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2013.

NASCIMENTO, Denise Morado; TOSTES, Simone Parrela. Programa Minha Casa Minha Vida: a (mesma) política habitacional no Brasil. **Arquitextos Vitruvius**, v. 133, 2011.

NEIVA, Sara; MATEUS, Ricardo; BRAGANÇA, Luís. **Utilização do método LCA no projeto de edifícios sustentáveis**. In: CONGRESSO NACIONAL CONSTRUÇÃO, 4., 2012, Coimbra. **Anais eletrônicos...** Coimbra: RepositoriUM, 2012. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/22291>>. Acesso em: 11 set.2013.

NETO, Paulo Nascimento; MOREIRA, Tomás Antonio; SCHUSSEL, Zulma das Graças Lucena. 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, 2012.

OLIVEIRA, Luciana Alves; MITIDIÉRI FILHO, Claudio Vicente Mitidieri. O projeto de edifícios habitacionais considerando a norma Brasileira de desempenho: análise aplicada para

as vedações verticais. **Revista Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 7, n. 1, p. 90-100, 2012.

PAULA, Nathália de; UECHI, Mônica Emiko; MELHADO, Silvio Burrattino. Novas demandas para as empresas de projeto de edifícios. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 137-159, 2013.

PAULSEN, Jacob Silva; SPOSTO, Rosa Maria. 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, 2013.

PEDROSO, Gilson Marafiga et al. Energia incorporada na fase de pré-uso de paredes de concreto armado moldadas in loco – Estudo de caso no DF. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SUSTENTABILIDADE E HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL, 3., Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre: Edipucrs, 2014.

PEDROSO, Gilson Marafiga; SPOSTO, Rosa Maria. Análise do ciclo de vida energético (ACVE) de habitação de interesse social (HIS) de paredes de concreto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3., Campinas. **Anais eletrônicos...** Campinas, 2013.

PESSOA, Carlos Eduardo Regadas. **Relação dos consumos energéticos dos edifícios de habitação com as emissões do ciclo de produção das soluções construtivas**. 2009. 244 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Braga, 2009.

REIS, Antônio Tarcísio da Luz; LAY, Maria Cristina Dias. O projeto da habitação de interesse social e a sustentabilidade social. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 99-119, 2010.

RIGUEIRA, Jonhson. Programa de gestão de parede de concreto. Belo Horizonte: A2B Comunicação, 2014. Disponível em: <<http://www.comunidadeaconstrucao.com.br/upload/ativos/342/anexo/relatoriop.pdf>>. Acesso em: 09 dez. 2014.

ROAF, Sue; CRICHTON, David; NICOL Fergus. A garantia de combustível: quando vai faltar luz? In: ROAF, Sue; CRICHTON, David; NICOL Fergus. **A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas**. Porto Alegre, RS: Bookman, 2009. p.311-326

ROCHA, Silvio J. Jaeger. Compacidade Urbana e arquitetônica como indicador de sustentabilidade. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SUSTENTABILIDADE E HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL, 3., Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre: Edipucrs, 2014.

ROSSO, T. **Aspectos geométricos do custo das edificações. Simpósio sobre barateamento da construção habitacional**. Trabalho n° 83. Salvador, mar., 1978.

SCHEIDT, Fernanda Selistre da Silva et al. 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, 2010.

SCHNECK, Eduardo Reuter et al. Energia Incorporada (EI) e emissões de CO₂ para a produção de um empreendimento habitacional de interesse social: investigação do impacto da

morfologia das edificações. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SUSTENTABILIDADE E HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL, 3., Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre: Edipucrs, 2014.

SCHNECK, Eduardo Reuter. **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, 2013.

SHARMA, Aashish. Life cycle assessment of buildings: A review. **Elsevier**, n. 15, p. 871-875, 2011.

SH FORMAS, ANDAIMES E ESCORAMENTOS LTDA (SH). **Catálogo de equipamentos 2013/14**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://www.sh.com.br/DesktopModules/Catalog/Files/catalog/pt-BR/1%20-%20Catalogo%20completo.pdf>>. Acesso em: 8 abr. 2014.

SILVA JR., Nivaldo Lima da. **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, 2010.

SILVA, Luciano Pires da. **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, 2012.

SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS (SINAT). **Nº 001 - Revisão 02**: Diretriz para avaliação técnica de sistemas construtivos em paredes de concreto armado moldadas no local. Brasília, 2011.

SOARES, Sebastião Roberto; SOUZA, Danielle Maia de; PEREIRA, Sibeli Warmiling. In: SATTLER, Miguel Aloysio; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkey (Org.). **Coletânea Habitar: Construção e Meio Ambiente**. Porto Alegre: ANTAC, 2006. cap. 4, p. 97- 127.

SPOSTO, Rosa Maria; PAULSEN, Jacob Silva. 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, 2014.

TAVARES, Sérgio Fernando. **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, 2006.

TORGAL, Fernando Pacheco; JALALI, Said. Introdução. In: TORGAL, Fernando Pacheco; JALALI, Said. **A sustentabilidade dos materiais de construção**. Vila Verde, Portugal: Gráfica Vilaverdense, 2010a. p. 9-40.

TORGAL, Fernando Pacheco; JALALI, Said. Materiais e energia. In: TORGAL, Fernando Pacheco; JALALI, Said. **A sustentabilidade dos materiais de construção**. Vila Verde, Portugal: Gráfica Vilaverdense, 2010b. p. 67-92.

VALENÇA, Márcio Moraes; BONATES, Mariana Fialho. The trajectory of social housing policy in Brazil: From the National Housing Bank to the Ministry of the Cities. Elsevier - Habitat International, n. 34, p. 165-173, 2010.

ZOCHE, Lidiana. **Identificação das limitações da ACV sob a ótica de pesquisas acadêmicas**. 2014. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2014.

WCED. World Commission on Environment and Development. **Our Common future**. 15 ed. New York: Oxford University Press, 1987.

WEINSTOCK, G. Agenda 21 para a Construção Sustentável. Relatório CIB – Publicação 237, Novembro 2000.

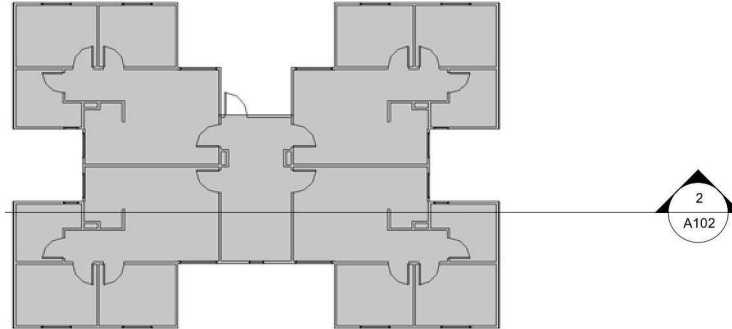
APÊNDICES

APÊNDICE A

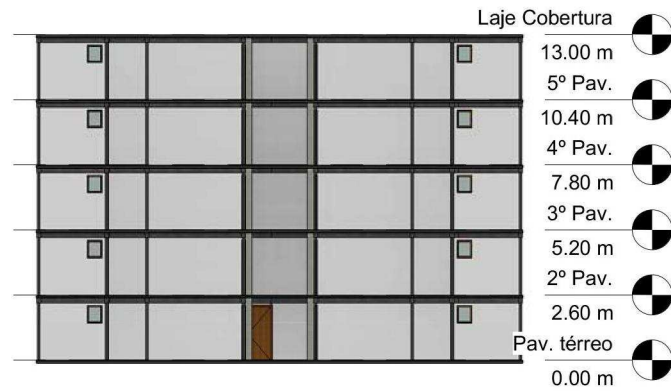
Projetos, gerados pelo *software* Revit.

Projeto 1A

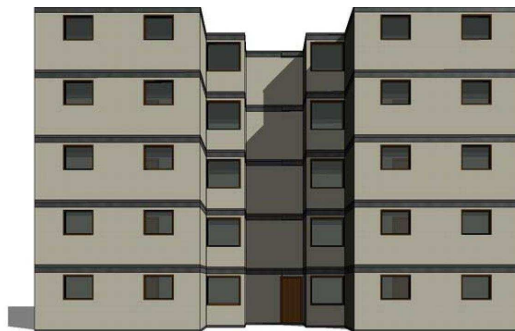
1 Planta baixa - Pav. Térreo



2 Corte



3 Perspectiva

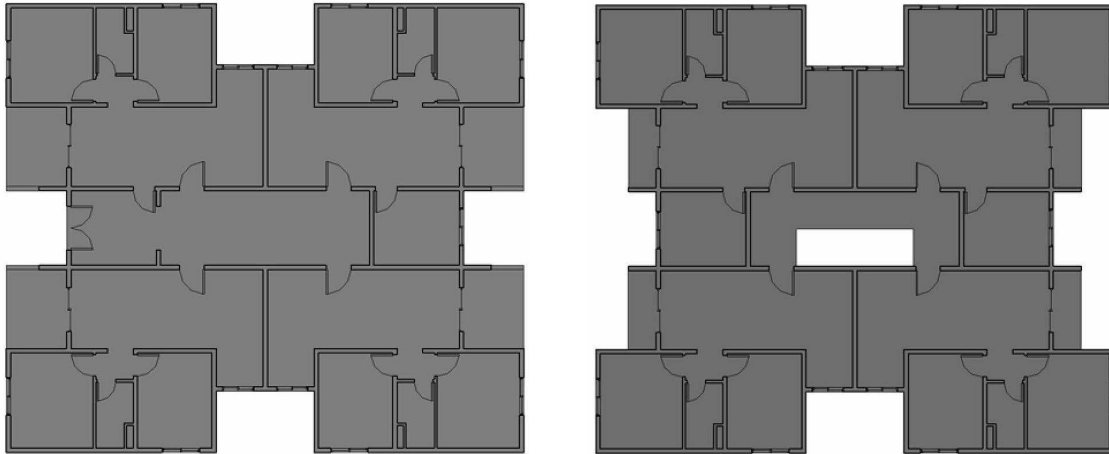


| | | | | |
|--|------|----------------|---------|-------|
| Autodesk® Revit® www.autodesk.com/revit | P 1A | UNISINOS | | |
| | | Project number | 1A | |
| | | Date | | |
| | | Drawn by | Author | |
| | | Checked by | Checker | Scale |

Projeto 2A

1 Planta baixa - Pav. Térreo

2 Planta baixa - Pav. Tipo



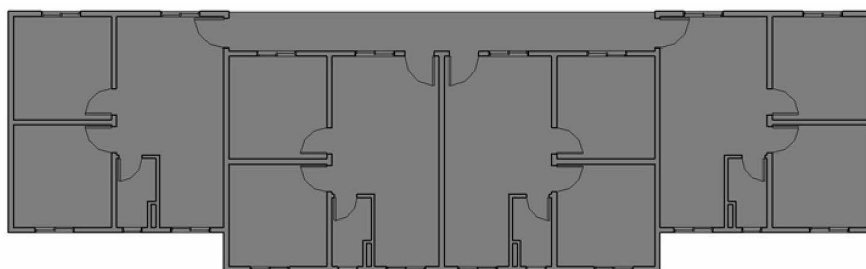
3 Fachada



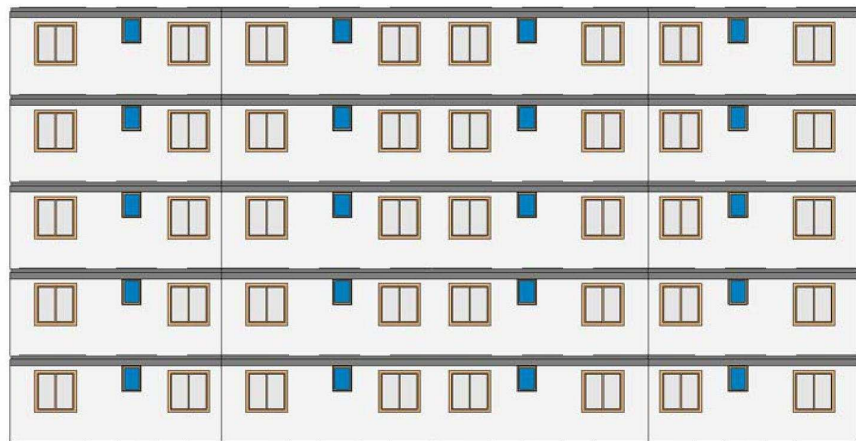
| | | | | |
|---|-------------|-----------------------|----------------|--------------|
| <p>Autodesk® Revit®</p> <p>www.autodesk.com/revit</p> | <p>P 2A</p> | <p>UNISINOS</p> | | |
| | | <p>Project number</p> | <p>2A</p> | |
| | | <p>Date</p> | <p>Author</p> | |
| | | <p>Checked by</p> | <p>Checker</p> | <p>Scale</p> |

Projeto 3A

1 Planta baixa - Pav. Térreo/ Tipo



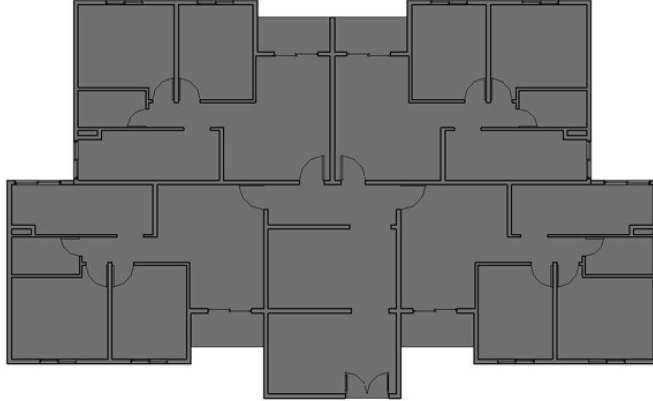
2 Fachada



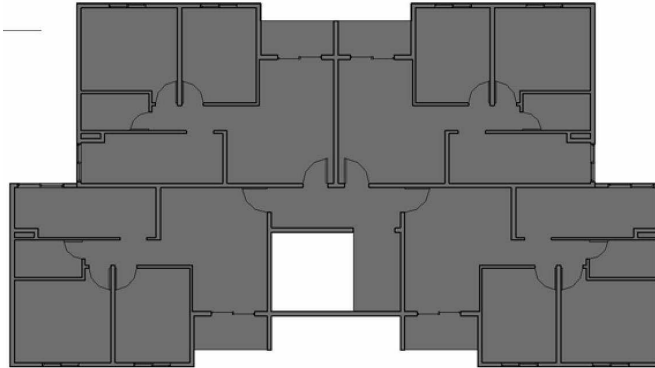
| | | | | |
|--|------------|----------------|--------|----|
| Autodesk® Revit® www.autodesk.com/revit | P 3A | UNISINOS | | |
| | | Project number | Author | 3A |
| Date | Checked by | Checker | | |
| | | Scale | | |

Projeto 4A

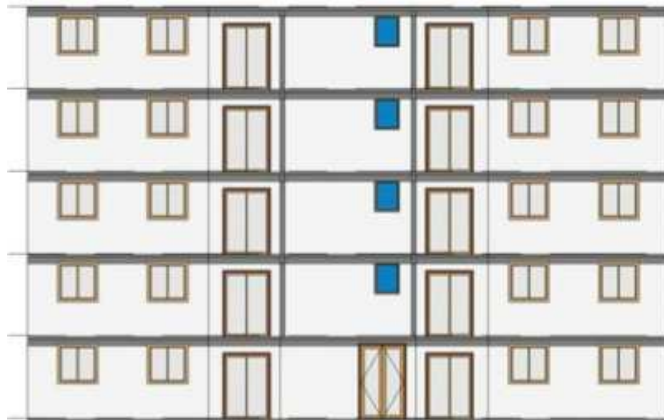
1 Planta baixa - Pav. Térreo



3 Planta baixa - Pav. Tipo



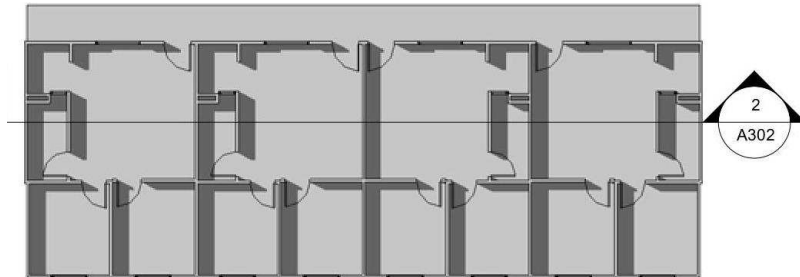
3 Fachada



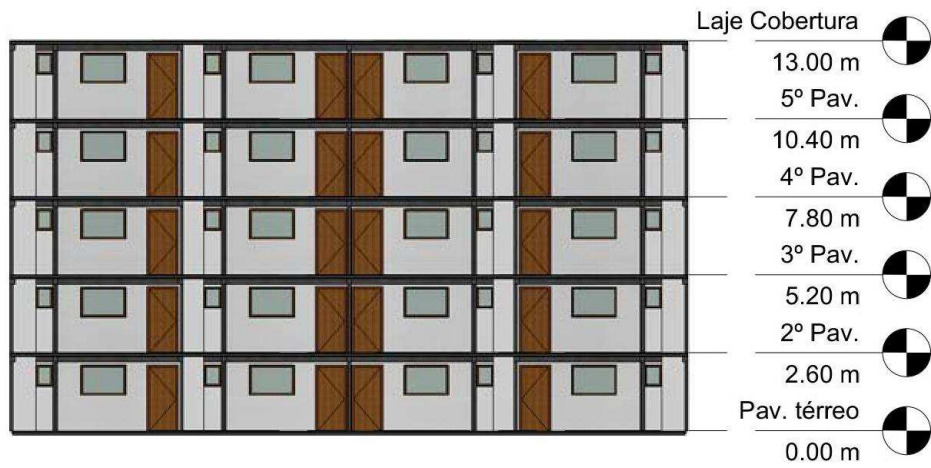
| | | | | |
|--|------|----------------|---------|-------|
| Autodesk® Revit® www.autodesk.com/revit | P 4A | UNISINOS | | |
| | | Project number | 4A | |
| | | Date | | |
| | | Drawn by | Author | |
| | | Checked by | Checker | Scale |

P 5A

1 Planta baixa - Pav. Térreo/ Tipo



2 Corte



| | | | | |
|--|------|----------------|---------|-------|
| Autodesk® Revit® www.autodesk.com/revit | P 5A | UNISINOS | | |
| | | Project number | 5A | |
| | | Date | | |
| | | Drawn by | Author | |
| | | Checked by | Checker | Scale |

APÊNDICE B

Planilha de serviço de obra por Projeto

P 1A (projeto-base)

| 1 | Serviços preliminares | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
|---------------|---|---------------|----------------------|------------------|-----------------|
| 1.1. | Locação da obra | | | | |
| | Aço - arame galvanizado | 5,00 | kg | | 5,00 |
| | Pregos aço 18x27 | 2,80 | kg | | 2,80 |
| | Pontalete madeira 3x3" cedro | 0,01 | m ³ | 720 | 7,20 |
| | Tábua madeira 1x9" cedrinho | 0,10 | m ³ | 720 | 72,00 |
| 1.2. | Tapume de tábuas com portão | 150,00 | m² | | |
| | Aço - arame galvanizado | 70,00 | kg | | 70,00 |
| | Pregos aço 18x27 | 40,00 | kg | | 40,00 |
| | Pontalete madeira 3x3" cedro | 0,30 | m ³ | 720 | 216,00 |
| | Ripa madeira 10x50mm | 0,00 | m ³ | 720 | 2,16 |
| | Tábua madeira 1x12" cedrinho | 1,25 | m ³ | 720 | 900,00 |
| 1.3. | Abrigo provisório | 40,00 | m² | | |
| | Areia média lavada | 2,28 | m ³ | 1.515 | 3.450,00 |
| | Pedra britada 1 | 2,79 | m ³ | 1.650 | 4.600,00 |
| | Cimento Portland | 0,59 | m ³ | 1.950 | 1.150,00 |
| | Chapa compensada resinada e=12mm | 0,60 | m ³ | 720 | 432,00 |
| | Pregos aço 18x27 | 50,00 | kg | | 50,00 |
| | Pontalete madeira 3x3" cedro | 0,14 | m ³ | 720 | 100,80 |
| | Tábua madeira 1x9" cedrinho | 2,50 | m ³ | 720 | 1.800,00 |
| | Viga em madeira 60x120mm peroba | 0,45 | m ³ | 720 | 324,00 |
| | Cumeeira p/ telha fibrocimento | 0,01 | | 1.920 | 23,04 |
| | Telha fibrocimento ondulada 4mm | 0,40 | m ³ | 1.920 | 768,00 |
| 2 | Estrutura | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 2.1. | Infraestrutura | | | | |
| 2.1.1. | Baldrames e fundações | | | | |
| | Tábuas de pinho para fundações e=15mm (5x) | 1,80 | m ³ | 600 | 1.080,00 |
| | Aço - armadura CA-50 d=1/4 a 3/8 | 1.080,00 | kg | | 1.080,00 |
| | Impermeabilização baldrames - 3 demãos | 30,00 | kg | | 30,00 |
| 2.1.2. | Concreto estrutural fck 21 Mpa | 12,00 | m³ | | |
| | Areia média lavada | 6,83 | m ³ | 1.515 | 10.350,00 |
| | Pedra britada 1 | 8,36 | m ³ | 1.650 | 13.800,00 |
| | Cimento Portland | 1,77 | m ³ | 1.950 | 3.450,00 |
| 2.2. | Supraestrutura | | | | |
| 2.2.1. | Vigas e lajes | | | | |
| | Forma chapa compensada resinada e=12mm (3x) | 18,48 | m ³ | 720 | 13.302,14 |
| | Escoras madeira d=10cm | 19.908,00 | kg | | 19.908,00 |
| | Pregos aço 18x27 | 26,00 | kg | | 25,00 |
| | Aço - armadura CA-50 d=1/4 a 3/8 | 9.699,48 | kg | | 9.699,48 |
| | Aço - armadura CA-60 d=1/4 a 3/8 | 4.156,92 | kg | | 4.156,92 |
| 2.2.2. | Concreto estrutural fck 21 Mpa | 153,96 | m³ | | |
| | Areia média lavada | 87,65 | m ³ | 1.515 | 132.790,50 |
| | Pedra britada 1 | 107,31 | m ³ | 1.650 | 177.054,00 |
| | Cimento Portland | 22,70 | m ³ | 1.950 | 44.263,50 |
| 2.3. | Escada | | | | |
| 2.3.1. | Escada concreto | 5,00 | m³ | | |
| | Areia média lavada | 2,85 | m ³ | 1.515 | 4.312,50 |
| | Pedra britada 1 | 3,48 | m ³ | 1.650 | 5.750,00 |
| | Cimento Portland | 0,74 | m ³ | 1.950 | 1.437,50 |
| | Aço - armadura CA-50 d=1/4 a 3/8 | 500,00 | kg | | 500,00 |

| | | | | | |
|-------------|---|------------|----------------|------------------|-----------------|
| 2.3.2. | <i>Guarda-corpo h=90cm</i> | | | | |
| | Grade de ferro (20 m ²) | 0,52 | m ³ | 7.870 | 4.092,40 |
| | Corrimão de ferro (80 m) | 3,20 | m ³ | 7.870 | 25.184,00 |
| 3 | <i>Alvenarias</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 3.1. | <i>Paredes e painéis</i> | | | | |
| 3.1.1. | <i>Blocos e tijolos</i> | | | | |
| | Blocos cerâmicos | 241,90 | m ³ | 1.400 | 338.660,00 |
| 3.1.2. | <i>Argamassa assentamento blocos 1:2:8</i> | 22,24 | m ³ | - | |
| | Areia média lavada | 21,06 | m ³ | 1.515 | 31.902,65 |
| | Cal hidratada CH III | 5,31 | m ³ | 1.500 | 7.971,16 |
| | Cimento Portland | 2,05 | m ³ | 1.950 | 3.994,58 |
| 3.2 | <i>Revestimento de paredes</i> | | | | |
| 3.2.1 | <i>Chapisco traço 1:3</i> | 5,81 | m ³ | - | |
| | Areia média lavada | 5,35 | m ³ | 1.515 | 8.104,95 |
| | Cimento Portland | 1,28 | m ³ | 1.950 | 2.487,66 |
| 3.2.2 | <i>Massa única (emboço) 1:2:9</i> | 11,62 | m ³ | - | |
| | Areia média lavada | 10,70 | m ³ | 1.515 | 16.209,90 |
| | Cal hidratada CH III | 2,40 | m ³ | 1.500 | 3.602,20 |
| | Cimento Portland | 0,92 | m ³ | 1.950 | 1.801,10 |
| 4 | <i>Acabamento de parede</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 4.1. | <i>Azulejos</i> | 490,00 | m ² | - | |
| | Azulejo | 2,94 | m ³ | 2.000 | 5.880,00 |
| 4.1.1. | <i>Argamassa assentamento 1:2:8</i> | 7,35 | m ³ | - | |
| | Areia média lavada | 6,56 | m ³ | 1.515 | 9.942,55 |
| | Cal hidratada CH III | 1,66 | m ³ | 1.500 | 2.485,64 |
| | Cimento Portland | 0,64 | m ³ | 1.950 | 1.242,82 |
| | Cimento branco não estrutural | 0,25 | m ³ | 1.950 | 477,75 |
| 5 | <i>Esquadrias</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 6 | <i>Cobertura e proteções</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 6.1. | <i>Telhado</i> | | | | |
| 6.1.1. | <i>Estrutura de madeira e telhas de fibrocimento ondulada</i> | | | | |
| | Madeira – peroba | 2,44 | m ³ | 720 | 1.756,80 |
| | Pregos aço 18x27 | 16,00 | Kg | | 16,00 |
| | Telha fibrocimento 8mm i=27% (18 kgf/m ²) | 2,05 | m ³ | 1.920 | 3.935,23 |
| | Cumeeria articulada de fibrocimento | 0,04 | m ³ | 1.920 | 85,68 |
| | Algeroz chapa galvanizada | 0,18 | m ³ | 7.850 | 1.450,84 |
| 6.2. | <i>Proteções</i> | 96,00 | m ² | | |
| | Lona contrapiso (polietileno alta densidade) | 0,20 | m ³ | 950 | 190,00 |
| | Impermeabilização banheiros | 12,00 | Kg | | 12,00 |
| 6.3. | <i>Forros</i> | | | | |
| | Forro PVC banheiros | 0,96 | m ³ | 1.300 | 1.253,20 |
| 7 | <i>Pisos</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 7.1. | <i>Pisos internos</i> | | | | |
| 7.1.1. | <i>Argamassa regularização de base</i> | 18,18 | m ³ | | |
| | Areia média lavada | 16,74 | m ³ | 1.515 | 25.361,10 |
| | Cal hidratada CH III | 5,64 | m ³ | 1.500 | 8.453,70 |
| 7.1.2. | <i>Cerâmica esmaltada com argamassa mista</i> | 1.212,00 | m ² | | |
| | Cerâmica comum | 12,12 | m ³ | 2.083 | 25.245,96 |
| | Areia média lavada | 10,82 | m ³ | 1.515 | 16.395,05 |
| | Cal hidratada CH III | 2,73 | m ³ | 1.500 | 4.098,76 |
| | Cimento Portland | 1,05 | m ³ | 1.950 | 2.049,38 |

| 8 | <i>Instalações</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
|-------------|---|------------|----------------|------------------|-----------------|
| 9 | <i>Pintura</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 9.1. | <i>Pintura forros e paredes internas</i> | | | | |
| | Selador acrílico pigmentado | 2.560,00 | m ² | 1 | 399,36 |
| | Tinta PVA látex (2 demãos) | 5.256,00 | m ² | 1 | 819,94 |
| 9.2. | <i>Pintura paredes externas</i> | | | | |
| | Selador acrílico pigmentado | 83,82 | m ² | 1 | 13,08 |
| | Tinta acrílica (2 demãos) | 2.190,00 | m ² | 1 | 341,64 |
| 9.3. | <i>Pintura em esquadrias madeira</i> | | | | |
| | Tinta esmalte (2 demãos) | 486,00 | m ² | | 120,00 |
| 10 | <i>Serviços complementares</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |

P 2A

| I | Serviços preliminares | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
|---------------|---|---------------|----------------------|------------------|-----------------|
| 1.1. | Locação da obra | | | | |
| | Aço - arame galvanizado | 5,00 | kg | | 5,00 |
| | Pregos aço 18x27 | 2,80 | kg | | 2,80 |
| | Pontalete madeira 3x3" cedro | 0,01 | m ³ | 720 | 7,20 |
| | Tábua madeira 1x9" cedrinho | 0,10 | m ³ | 720 | 72,00 |
| 1.2. | Tapume de tábuas com portão | 150,00 | m² | | |
| | Aço - arame galvanizado | 70,00 | kg | | 70,00 |
| | Pregos aço 18x27 | 40,00 | kg | | 40,00 |
| | Pontalete madeira 3x3" cedro | 0,30 | m ³ | 720 | 216,00 |
| | Ripa madeira 10x50mm | 0,00 | m ³ | 720 | 2,16 |
| | Tábua madeira 1x12" cedrinho | 1,25 | m ³ | 720 | 900,00 |
| 1.3. | Abrigo provisório | 40,00 | m² | | |
| | Areia média lavada | 2,28 | m ³ | 1.515 | 3.450,00 |
| | Pedra britada 1 | 2,79 | m ³ | 1.650 | 4.600,00 |
| | Cimento Portland | 0,59 | m ³ | 1.950 | 1.150,00 |
| | Chapa compensada resinada e=12mm | 0,60 | m ³ | 720 | 432,00 |
| | Pregos aço 18x27 | 50,00 | kg | | 50,00 |
| | Pontalete madeira 3x3" cedro | 0,14 | m ³ | 720 | 100,80 |
| | Tábua madeira 1x9" cedrinho | 2,50 | m ³ | 720 | 1.800,00 |
| | Viga em madeira 60x120mm peroba | 0,45 | m ³ | 720 | 324,00 |
| | Cumeeira p/ telha fibrocimento | 0,01 | | 1.920 | 23,04 |
| | Telha fibrocimento ondulada 4mm | 0,40 | m ³ | 1.920 | 768,00 |
| 2 | Estrutura | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 2.1. | Infraestrutura | | | | |
| 2.1.1. | Baldrames e fundações | | | | |
| | Tábuas de pinho para fundações e=15mm (5x) | 1,80 | m ³ | 600 | 1.080,00 |
| | Aço - armadura CA-50 d=1/4 a 3/8 | 1.080,00 | kg | | 1.080,00 |
| | Impermeabilização baldrames - 3 demãos | 30,00 | kg | | 30,00 |
| 2.1.2. | Concreto estrutural fck 21 Mpa | 12,00 | m³ | | |
| | Areia média lavada | 6,83 | m ³ | 1.515 | 10.350,00 |
| | Pedra britada 1 | 8,36 | m ³ | 1.650 | 13.800,00 |
| | Cimento Portland | 1,77 | m ³ | 1.950 | 3.450,00 |
| 2.2. | Supraestrutura | | | | |
| 2.2.1. | Vigas e lajes | | | | |
| | Forma chapa compensada resinada e=12mm (3x) | 15,01 | m ³ | 720 | 10.809,55 |
| | Escoras madeira d=10cm | 16.177,58 | kg | | 16.177,58 |
| | Pregos aço 18x27 | 21,13 | kg | | 21,13 |
| | Aço - armadura CA-50 d=1/4 a 3/8 | 7.881,96 | kg | | 7.881,96 |
| | Aço - armadura CA-60 d=1/4 a 3/8 | 3.377,98 | kg | | 3.377,98 |
| 2.2.2. | Concreto estrutural fck 21 Mpa | | | | |
| | Areia média lavada | 71,23 | m ³ | 1.515 | 107.907,81 |
| | Pedra britada 1 | 87,20 | m ³ | 1.650 | 143.877,08 |
| | Cimento Portland | 18,45 | m ³ | 1.950 | 35.969,27 |
| 2.3. | Escada | | | | |
| 2.3.1. | Escada concreto | 5,00 | m³ | | |
| | Areia média lavada | 2,85 | m ³ | 1.515 | 4.312,50 |
| | Pedra britada 1 | 3,48 | m ³ | 1.650 | 5.750,00 |
| | Cimento Portland | 0,74 | m ³ | 1.950 | 1.437,50 |
| | Aço - armadura CA-50 d=1/4 a 3/8 | 500,00 | kg | | 500,00 |
| 2.3.2. | Guarda-corpo h=90cm | | | | |
| | Grade de ferro (20 m ²) | 0,52 | m ³ | 7.870 | 4.092,40 |
| | Corrimão de ferro (80 m) | 3,20 | m ³ | 7.870 | 25.184,00 |

| 3 | <i>Alvenarias</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
|-------------|---|------------|----------------|------------------|-----------------|
| 3.1. | Paredes e painéis | | | | |
| 3.1.1. | <i>Blocos e tijolos</i> | 272,93 | | | |
| | Blocos cerâmicos | 235,19 | m ³ | 1.400 | 329.266,00 |
| 3.1.2. | <i>Argamassa assentamento blocos 1:2:8</i> | 20,92 | m ³ | - | |
| | Areia média lavada | 18,68 | m ³ | 1.515 | 28.294,86 |
| | Cal hidratada CH III | 4,72 | m ³ | 1.500 | 7.073,71 |
| | Cimento Portland | 1,81 | m ³ | 1.950 | 3.536,86 |
| 3.2 | Revestimento de paredes | - | | | |
| 3.2.1 | <i>Chapisco traço 1:3</i> | 5,81 | m ³ | - | |
| | Areia média lavada | 5,35 | m ³ | 1.515 | 8.111,50 |
| | Cimento Portland | 1,28 | m ³ | 1.950 | 2.489,67 |
| 3.2.2 | <i>Massa única (emboço) 1:2:9</i> | 11,63 | m ³ | - | |
| | Areia média lavada | 10,71 | m ³ | 1.515 | 16.223,01 |
| | Cal hidratada CH III | 2,40 | m ³ | 1.500 | 3.605,11 |
| | Cimento Portland | 0,92 | m ³ | 1.950 | 1.802,56 |
| 4 | <i>Acabamento de parede</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 4.1. | <i>Azulejos</i> | 408,90 | m ² | - | |
| | Azulejo | 2,45 | m ³ | 2.000 | 4.906,80 |
| 4.1.1. | <i>Argamassa assentamento 1:2:8</i> | 6,13 | m ³ | - | |
| | Areia média lavada | 5,48 | m ³ | 1.515 | 8.296,95 |
| | Cal hidratada CH III | 1,38 | m ³ | 1.500 | 2.074,24 |
| | Cimento Portland | 0,53 | m ³ | 1.950 | 1.037,12 |
| | Cimento branco não estrutural | 0,20 | m ³ | 1.950 | 398,68 |
| 5 | <i>Esquadrias</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 6 | <i>Cobertura e proteções</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 6.1. | Telhado | | | | |
| 6.1.1. | | | | | |
| | Madeira – peroba | 2,44 | m ³ | 720 | 1.756,80 |
| | Pregos aço 18x27 | 16,00 | kg | | 16,00 |
| | Telha fibrocimento 8mm i=27% (18 kgf/m ²) | 1,75 | m ³ | 1.920 | 3.354,53 |
| | Cumeeria articulada de fibrocimento | 0,02 | m ³ | 1.920 | 31,55 |
| | Algeroz chapa galvanizada | 0,16 | m ³ | 7.850 | 1.259,61 |
| 6.2. | Proteções | 46,40 | m ² | | |
| | Lona contrapiso (polietileno alta densidade) | 0,20 | m ³ | 950 | 190,00 |
| | Impermeabilização banheiros | 5,80 | kg | | 5,80 |
| 6.3. | Forros | | | | |
| | Forro PVC banheiros | 0,46 | m ³ | 1.300 | 603,20 |
| 7 | <i>Pisos</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 7.1. | Pisos internos | | | | |
| 7.1.1. | <i>Argamassa regularização de base</i> | 15,60 | m ³ | | |
| | Areia média lavada | 14,37 | m ³ | 1.515 | 21.768,70 |
| | Cal hidratada CH III | 4,84 | m ³ | 1.500 | 7.256,23 |
| 7.1.2. | <i>Cerâmica esmaltada com argamassa mista</i> | 1.040,32 | m ² | | |
| | Cerâmica comum | 10,40 | m ³ | 2.083 | 21.669,87 |
| | Areia média lavada | 9,29 | m ³ | 1.515 | 14.072,69 |
| | Cal hidratada CH III | 2,35 | m ³ | 1.500 | 3.518,17 |
| | Cimento Portland | 0,90 | m ³ | 1.950 | 1.759,09 |
| 8 | <i>Instalações</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |

| 9 | <i>Pintura</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
|-------------|--|------------|----------------|------------------|-----------------|
| 9.1. | Pintura forros e paredes internas | | | | |
| | Selador acrílico pigmentado | 1.768,00 | m ² | 1,30 | 275,81 |
| | Tinta PVA látex (2 demãos) | 3.536,00 | m ² | 1,30 | 551,62 |
| 9.2. | Pintura paredes externas | | | | |
| | Selador acrílico pigmentado | 843,00 | m ² | 1,30 | 131,51 |
| | Tinta acrílica (2 demãos) | 1.686,00 | m ² | 1,30 | 263,02 |
| 9.3. | Pintura em esquadrias madeira | | | | |
| | Tinta esmalte (2 demãos) | 290,64 | m ² | | 71,76 |
| 10 | <i>Serviços complementares</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |

P 3A

| 1 | Serviços preliminares | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
|---------------|---|---------------|----------------------|------------------|-----------------|
| 1.1. | Locação da obra | | | | |
| | Aço - arame galvanizado | 5,00 | kg | | 5,00 |
| | Pregos aço 18x27 | 2,80 | kg | | 2,80 |
| | Pontaletes madeira 3x3" cedro | 0,01 | m ³ | 720 | 7,20 |
| | Tábua madeira 1x9" cedrinho | 0,10 | m ³ | 720 | 72,00 |
| 1.2. | Tapume de tábuas com portão | 150,00 | m² | | |
| | Aço - arame galvanizado | 70,00 | kg | | 70,00 |
| | Pregos aço 18x27 | 40,00 | kg | | 40,00 |
| | Pontaletes madeira 3x3" cedro | 0,30 | m ³ | 720 | 216,00 |
| | Ripa madeira 10x50mm | 0,00 | m ³ | 720 | 2,16 |
| | Tábua madeira 1x12" cedrinho | 1,25 | m ³ | 720 | 900,00 |
| 1.3. | Abrigo provisório | 40,00 | m² | | |
| | Areia média lavada | 2,28 | m ³ | 1.515 | 3.450,00 |
| | Pedra britada 1 | 2,79 | m ³ | 1.650 | 4.600,00 |
| | Cimento Portland | 0,59 | m ³ | 1.950 | 1.150,00 |
| | Chapa compensada resinada e=12mm | 0,60 | m ³ | 720 | 432,00 |
| | Pregos aço 18x27 | 50,00 | kg | | 50,00 |
| | Pontaletes madeira 3x3" cedro | 0,14 | m ³ | 720 | 100,80 |
| | Tábua madeira 1x9" cedrinho | 2,50 | m ³ | 720 | 1.800,00 |
| | Viga em madeira 60x120mm peroba | 0,45 | m ³ | 720 | 324,00 |
| | Cumeeira p/ telha fibrocimento | 0,01 | | 1.920 | 23,04 |
| | Telha fibrocimento ondulada 4mm | 0,40 | m ³ | 1.920 | 768,00 |
| 2 | Estrutura | | | | |
| 2.1. | Infraestrutura | | | | |
| 2.1.1. | Baldrames e fundações | | | | |
| | Tábuas de pinho para fundações e=15mm (5x) | 1,80 | m ³ | 600 | 1.080,00 |
| | Aço - armadura CA-50 d=1/4 a 3/8 | 1.080,00 | kg | | 1.080,00 |
| | Impermeabilização baldrames - 3 demãos | 30,00 | kg | | 30,00 |
| 2.1.2. | Concreto estrutural fck 21 Mpa | 12,00 | m³ | | |
| | Areia média lavada | 6,83 | m ³ | 1.515 | 10.350,00 |
| | Pedra britada 1 | 8,36 | m ³ | 1.650 | 13.800,00 |
| | Cimento Portland | 1,77 | m ³ | 1.950 | 3.450,00 |
| 2.2. | Supraestrutura | | | | |
| 2.2.1. | Vigas e lajes | | | | |
| | Forma chapa compensada resinada e=12mm (3x) | 14,60 | m ³ | 720 | 10.514,47 |
| | Escoras madeira d=10cm | 15.735,97 | kg | | 15.735,97 |
| | Pregos aço 18x27 | 20,55 | kg | | 20,55 |
| | Aço - armadura CA-50 d=1/4 a 3/8 | 7.666,80 | kg | | 7.666,80 |
| | Aço - armadura CA-60 d=1/4 a 3/8 | 3.285,77 | kg | | 3.285,77 |
| 2.2.2. | Concreto estrutural fck 21 Mpa | | | | |
| | Areia média lavada | 69,28 | m ³ | 1.515 | 104.962,20 |
| | Pedra britada 1 | 84,82 | m ³ | 1.650 | 139.949,60 |
| | Cimento Portland | 17,94 | m ³ | 1.950 | 34.987,40 |
| 2.3. | Escada | | | | |
| 2.3.1. | Escada concreto | 5,00 | m³ | | |
| | Areia média lavada | 2,85 | m ³ | 1.515 | 4.312,50 |
| | Pedra britada 1 | 3,48 | m ³ | 1.650 | 5.750,00 |
| | Cimento Portland | 0,74 | m ³ | 1.950 | 1.437,50 |
| | Aço - armadura CA-50 d=1/4 a 3/8 | 500,00 | kg | | 500,00 |
| 2.3.2. | Guarda-corpo h=90cm | | | | |
| | Grade de ferro (20 m ²) | 0,52 | m ³ | 7.870 | 4.092,40 |
| | Corrimão de ferro (80 m) | 3,20 | m ³ | 7.870 | 25.184,00 |

| 3 | <i>Alvenarias</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
|---------------|---|------------|----------------|------------------|-----------------|
| 3.1. | Paredes e painéis | | | | |
| 3.1.1. | <i>Blocos e tijolos</i> | | | | |
| | Blocos cerâmicos | 223,29 | m ³ | 1.400 | 312.606,00 |
| 3.1.2. | <i>Argamassa assentamento blocos 1:2:8</i> | 19,86 | m ³ | - | |
| | Areia média lavada | 17,73 | m ³ | 1.515 | 26.863,21 |
| | Cal hidratada CH III | 4,48 | m ³ | 1.500 | 6.715,80 |
| | Cimento Portland | 1,72 | m ³ | 1.950 | 3.357,90 |
| 3.2 | Revestimento de paredes | - | | | |
| 3.2.1 | <i>Chapisco traço 1:3</i> | 5,52 | m ³ | - | |
| | Areia média lavada | 5,08 | m ³ | 1.515 | 7.701,08 |
| | Cimento Portland | 1,21 | m ³ | 1.950 | 2.363,70 |
| 3.2.2 | <i>Massa única (emboço) 1:2:9</i> | 11,04 | m ³ | - | |
| | Areia média lavada | 10,17 | m ³ | 1.515 | 15.402,16 |
| | Cal hidratada CH III | 2,28 | m ³ | 1.500 | 3.422,70 |
| | Cimento Portland | 0,88 | m ³ | 1.950 | 1.711,35 |
| 4 | <i>Acabamento de parede</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 4.1. | <i>Azulejos</i> | 401,56 | m ² | - | |
| | Azulejo | 2,41 | m ³ | 2.000 | 4.818,72 |
| 4.1.1. | <i>Argamassa assentamento 1:2:8</i> | 6,02 | m ³ | - | |
| | Areia média lavada | 5,38 | m ³ | 1.515 | 8.148,02 |
| | Cal hidratada CH III | 1,36 | m ³ | 1.500 | 2.037,00 |
| | Cimento Portland | 0,52 | m ³ | 1.950 | 1.018,50 |
| | Cimento branco não estrutural | 0,20 | m ³ | 1.950 | 391,52 |
| 5 | <i>Esquadrias</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 6 | <i>Cobertura e proteções</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 6.1. | Telhado | | | | |
| 6.1.1. | | | | | |
| | Madeira – peroba | 2,44 | m ³ | 720 | 1.756,80 |
| | Pregos aço 18x27 | 16,00 | kg | | 16,00 |
| | Telha fibrocimento 8mm i=27% (18 kgf/m ²) | 1,69 | m ³ | 1.920 | 3.251,30 |
| | Cumeeria articulada de fibrocimento | 0,04 | m ³ | 1.920 | 80,61 |
| | Algeroz chapa galvanizada | 0,15 | m ³ | 7.850 | 1.175,15 |
| 6.2. | Proteções | 47,60 | m ² | | |
| | Lona contrapiso (polietileno alta densidade) | 0,20 | m ³ | 950 | 190,00 |
| | Impermeabilização banheiros | 5,95 | kg | | 5,95 |
| 6.3. | Forros | | | | |
| | Forro PVC banheiros | 0,48 | m ³ | 1.300 | 618,80 |
| 7 | <i>Pisos</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 7.1. | Pisos internos | | | | |
| 7.1.1. | <i>Argamassa regularização de base</i> | 15,42 | m ³ | | |
| | Areia média lavada | 14,20 | m ³ | 1.515 | 21.516,76 |
| | Cal hidratada CH III | 4,78 | m ³ | 1.500 | 7.172,25 |
| 7.1.2. | <i>Cerâmica esmaltada com argamassa mista</i> | 1.028,28 | m ² | | |
| | Cerâmica comum | 10,28 | m ³ | 2.083 | 21.419,07 |
| | Areia média lavada | 9,18 | m ³ | 1.515 | 13.909,82 |
| | Cal hidratada CH III | 2,32 | m ³ | 1.500 | 3.477,46 |
| | Cimento Portland | 0,89 | m ³ | 1.950 | 1.738,73 |
| 8 | <i>Instalações</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |

| 9 | <i>Pintura</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
|-------------|---|------------|----------------|------------------|-----------------|
| 9.1. | <i>Pintura forros e paredes internas</i> | | | | |
| | Selador acrílico pigmentado | 1.274,00 | m ² | 1,30 | 198,74 |
| | Tinta PVA látex (2 demãos) | 2.548,00 | m ² | 1,30 | 397,49 |
| 9.2. | <i>Pintura paredes externas</i> | | | | |
| | Selador acrílico pigmentado | 675,00 | m ² | 1,30 | 105,30 |
| | Tinta acrílica (2 demãos) | 1.350,00 | m ² | 1,30 | 210,60 |
| 9.3. | <i>Pintura em esquadrias madeira</i> | | | | |
| | Tinta esmalte (2 demãos) | 260,40 | m ² | | 64,30 |
| 10 | <i>Serviços complementares</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |

P 4A

| <i>I</i> | <i>Serviços preliminares</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
|---------------|---|-----------|----------------|-----------|------------|
| 1.1. | Locação da obra | | | | |
| | Aço - arame galvanizado | 5,00 | kg | | 5,00 |
| | Pregos aço 18x27 | 2,80 | kg | | 2,80 |
| | Pontalete madeira 3x3" cedro | 0,01 | m ³ | 720 | 7,20 |
| | Tábua madeira 1x9" cedrinho | 0,10 | m ³ | 720 | 72,00 |
| 1.2. | Tapume de tábuas com portão | 150,00 | m ² | | |
| | Aço - arame galvanizado | 70,00 | kg | | 70,00 |
| | Pregos aço 18x27 | 40,00 | kg | | 40,00 |
| | Pontalete madeira 3x3" cedro | 0,30 | m ³ | 720 | 216,00 |
| | Ripa madeira 10x50mm | 0,00 | m ³ | 720 | 2,16 |
| | Tábua madeira 1x12" cedrinho | 1,25 | m ³ | 720 | 900,00 |
| 1.3. | Abrigo provisório | 40,00 | m ² | | |
| | Areia média lavada | 2,28 | m ³ | 1.515 | 3.450,00 |
| | Pedra britada 1 | 2,79 | m ³ | 1.650 | 4.600,00 |
| | Cimento Portland | 0,59 | m ³ | 1.950 | 1.150,00 |
| | Chapa compensada resinada e=12mm | 0,60 | m ³ | 720 | 432,00 |
| | Pregos aço 18x27 | 50,00 | kg | | 50,00 |
| | Pontalete madeira 3x3" cedro | 0,14 | m ³ | 720 | 100,80 |
| | Tábua madeira 1x9" cedrinho | 2,50 | m ³ | 720 | 1.800,00 |
| | Viga em madeira 60x120mm peroba | 0,45 | m ³ | 720 | 324,00 |
| | Cumeeira p/ telha fibrocimento | 0,01 | | 1.920 | 23,04 |
| | Telha fibrocimento ondulada 4mm | 0,40 | m ³ | 1.920 | 768,00 |
| 2 | Estrutura | | | | |
| 2.1. | Infraestrutura | | | | |
| <i>2.1.1.</i> | <i>Baldrames e fundações</i> | | | | |
| | Tábuas de pinho para fundações e=15mm (5x) | 1,80 | m ³ | 600 | 1.080,00 |
| | Aço - armadura CA-50 d=1/4 a 3/8 | 1.080,00 | kg | | 1.080,00 |
| | Impermeabilização baldrames - 3 demãos | 30,00 | kg | | 30,00 |
| <i>2.1.2.</i> | <i>Concreto estrutural fck 21 Mpa</i> | 12,00 | m ³ | | |
| | Areia média lavada | 6,83 | m ³ | 1.515 | 10.350,00 |
| | Pedra britada 1 | 8,36 | m ³ | 1.650 | 13.800,00 |
| | Cimento Portland | 1,77 | m ³ | 1.950 | 3.450,00 |
| 2.2. | Supraestrutura | | | | |
| <i>2.2.1.</i> | <i>Vigas e lajes</i> | | | | |
| | Forma chapa compensada resinada e=12mm (3x) | 14,85 | m ³ | 720 | 10.694,18 |
| | Escoras madeira d=10cm | 16.004,91 | kg | | 16.004,91 |
| | Pregos aço 18x27 | 20,90 | kg | | 20,90 |
| | Aço - armadura CA-50 d=1/4 a 3/8 | 7.797,84 | kg | | 7.797,84 |
| | Aço - armadura CA-60 d=1/4 a 3/8 | 3.341,93 | kg | | 3.341,93 |
| <i>2.2.2.</i> | <i>Concreto estrutural fck 21 Mpa</i> | | | | |
| | Areia média lavada | 70,47 | m ³ | 1.515 | 106.756,11 |
| | Pedra britada 1 | 86,27 | m ³ | 1.650 | 142.341,48 |
| | Cimento Portland | 18,25 | m ³ | 1.950 | 35.585,37 |
| 2.3. | Escada | | | | |
| <i>2.3.1.</i> | <i>Escada concreto</i> | 5,00 | m ³ | | |
| | Areia média lavada | 2,85 | m ³ | 1.515 | 4.312,50 |
| | Pedra britada 1 | 3,48 | m ³ | 1.650 | 5.750,00 |
| | Cimento Portland | 0,74 | m ³ | 1.950 | 1.437,50 |
| | Aço - armadura CA-50 d=1/4 a 3/8 | 500,00 | kg | | 500,00 |
| <i>2.3.2.</i> | <i>Guarda-corpo h=90cm</i> | | | | |
| | Grade de ferro (20 m ²) | 0,52 | m ³ | 7.870 | 4.092,40 |
| | Corrimão de ferro (80 m) | 3,20 | m ³ | 7.870 | 25.184,00 |

| 3 | <i>Alvenarias</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
|---------------|---|------------|----------------|------------------|-----------------|
| 3.1. | Paredes e painéis | | | | |
| <i>3.1.1.</i> | <i>Blocos e tijolos</i> | | | | |
| | Blocos cerâmicos | 205,11 | m ³ | 1.400 | 287.151,17 |
| <i>3.1.2.</i> | <i>Argamassa assentamento blocos 1:2:8</i> | 18,24 | m ³ | - | |
| | Areia média lavada | 16,29 | m ³ | 1.515 | 24.675,80 |
| | Cal hidratada CH III | 4,11 | m ³ | 1.500 | 6.168,95 |
| | Cimento Portland | 1,58 | m ³ | 1.950 | 3.084,47 |
| 3.2 | Revestimento de paredes | - | | | |
| <i>3.2.1</i> | <i>Chapisco traço 1:3</i> | 5,07 | m ³ | - | |
| | Areia média lavada | 4,67 | m ³ | 1.515 | 7.074,00 |
| | Cimento Portland | 1,11 | m ³ | 1.950 | 2.171,23 |
| <i>3.2.2</i> | <i>Massa única (emboço) 1:2:9</i> | 10,14 | m ³ | - | |
| | Areia média lavada | 9,34 | m ³ | 1.515 | 14.148,00 |
| | Cal hidratada CH III | 2,10 | m ³ | 1.500 | 3.144,00 |
| | Cimento Portland | 0,81 | m ³ | 1.950 | 1.572,00 |
| 4 | <i>Acabamento de parede</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| <i>4.1.</i> | <i>Azulejos</i> | 359,10 | m ² | - | |
| | Azulejo | 2,15 | m ³ | 2.000 | 4.309,20 |
| <i>4.1.1.</i> | <i>Argamassa assentamento 1:2:8</i> | 5,39 | m ³ | - | |
| | Areia média lavada | 4,81 | m ³ | 1.515 | 7.286,47 |
| | Cal hidratada CH III | 1,21 | m ³ | 1.500 | 1.821,62 |
| | Cimento Portland | 0,47 | m ³ | 1.950 | 910,81 |
| | Cimento branco não estrutural | 0,18 | m ³ | 1.950 | 350,12 |
| 5 | <i>Esquadrias</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 6 | <i>Cobertura e proteções</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 6.1. | Telhado | | | | |
| <i>6.1.1.</i> | | | | | |
| | Madeira – peroba | 2,44 | m ³ | 720 | 1.756,80 |
| | Pregos aço 18x27 | 16,00 | kg | | 16,00 |
| | Telha fibrocimento 8mm i=27% (18 kgf/m ²) | 1,76 | m ³ | 1.920 | 3.380,38 |
| | Cumeeria articulada de fibrocimento | 0,03 | m ³ | 1.920 | 51,43 |
| | Algeroz chapa galvanizada | 0,14 | m ³ | 7.850 | 1.098,37 |
| 6.2. | Proteções | 53,00 | m ² | | |
| | Lona contrapiso (polietileno alta densidade) | 0,20 | m ³ | 950 | 190,00 |
| | Impermeabilização banheiros | 6,63 | kg | | 6,63 |
| 6.3. | Forros | | | | |
| | Forro PVC banheiros | 0,53 | m ³ | 1.300 | 689,00 |
| 7 | <i>Pisos</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 7.1. | Pisos internos | | | | |
| <i>7.1.1.</i> | <i>Argamassa regularização de base</i> | 15,31 | m ³ | | |
| | Areia média lavada | 14,10 | m ³ | 1.515 | 21.359,61 |
| | Cal hidratada CH III | 4,75 | m ³ | 1.500 | 7.119,87 |
| <i>7.1.2.</i> | <i>Cerâmica esmaltada com argamassa mista</i> | 1.020,77 | m ² | | |
| | Cerâmica comum | 10,21 | m ³ | 2.083 | 21.262,64 |
| | Areia média lavada | 9,11 | m ³ | 1.515 | 13.808,23 |
| | Cal hidratada CH III | 2,30 | m ³ | 1.500 | 3.452,06 |
| | Cimento Portland | 0,89 | m ³ | 1.950 | 1.726,03 |
| 8 | <i>Instalações</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |

| 9 | <i>Pintura</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
|-------------|--|------------|----------------|------------------|-----------------|
| 9.1. | Pintura forros e paredes internas | | | | |
| | Selador acrílico pigmentado | 1.156,25 | m ² | 1,30 | 180,38 |
| | Tinta PVA látex (2 demãos) | 2.312,50 | m ² | 1,30 | 360,75 |
| 9.2. | Pintura paredes externas | | | | |
| | Selador acrílico pigmentado | 750,00 | m ² | 1,30 | 117,00 |
| | Tinta acrílica (2 demãos) | 1.500,00 | m ² | 1,30 | 234,00 |
| 9.3. | Pintura em esquadrias madeira | | | | |
| | Tinta esmalte (2 demãos) | 260,40 | m ² | | 64,30 |
| 10 | <i>Serviços complementares</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |

P 5A

| 1 | Serviços preliminares | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
|---------------|---|---------------|----------------------|------------------|-----------------|
| 1.1. | Locação da obra | | | | |
| | Aço - arame galvanizado | 5,00 | kg | | 5,00 |
| | Pregos aço 18x27 | 2,80 | kg | | 2,80 |
| | Pontaletes madeira 3x3" cedro | 0,01 | m ³ | 720 | 7,20 |
| | Tábua madeira 1x9" cedrinho | 0,10 | m ³ | 720 | 72,00 |
| 1.2. | Tapume de tábuas com portão | 150,00 | m² | | |
| | Aço - arame galvanizado | 70,00 | kg | | 70,00 |
| | Pregos aço 18x27 | 40,00 | kg | | 40,00 |
| | Pontaletes madeira 3x3" cedro | 0,30 | m ³ | 720 | 216,00 |
| | Ripa madeira 10x50mm | 0,00 | m ³ | 720 | 2,16 |
| | Tábua madeira 1x12" cedrinho | 1,25 | m ³ | 720 | 900,00 |
| 1.3. | Abrigo provisório | 40,00 | m² | | |
| | Areia média lavada | 2,28 | m ³ | 1515 | 3.450,00 |
| | Pedra britada 1 | 2,79 | m ³ | 1650 | 4.600,00 |
| | Cimento Portland | 0,59 | m ³ | 1950 | 1.150,00 |
| | Chapa compensada resinada e=12mm | 0,60 | m ³ | 720 | 432,00 |
| | Pregos aço 18x27 | 50,00 | kg | | 50,00 |
| | Pontaletes madeira 3x3" cedro | 0,14 | m ³ | 720 | 100,80 |
| | Tábua madeira 1x9" cedrinho | 2,50 | m ³ | 720 | 1.800,00 |
| | Viga em madeira 60x120mm peroba | 0,45 | m ³ | 720 | 324,00 |
| | Cumeeira p/ telha fibrocimento | 0,01 | | 1920 | 23,04 |
| | Telha fibrocimento ondulada 4mm | 0,40 | m ³ | 1920 | 768,00 |
| 2 | Estrutura | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 2.1. | Infraestrutura | | | | |
| 2.1.1. | Baldrames e fundações | | | | |
| | Tábuas de pinho para fundações e=15mm (5x) | 1,80 | m ³ | 600 | 1.080,00 |
| | Aço - armadura CA-50 d=1/4 a 3/8 | 1.080,00 | kg | | 1.080,00 |
| | Impermeabilização baldrames - 3 demãos | 30,00 | kg | | 30,00 |
| 2.1.2. | Concreto estrutural fck 21 Mpa | 12,00 | m³ | | |
| | Areia média lavada | 6,83 | m ³ | 1515 | 10.350,00 |
| | Pedra britada 1 | 8,36 | m ³ | 1650 | 13.800,00 |
| | Cimento Portland | 1,77 | m ³ | 1950 | 3.450,00 |
| 2.2. | Supraestrutura | | | | |
| 2.2.1. | Vigas e lajes | | | | |
| | Forma chapa compensada resinada e=12mm (3x) | 14,43 | m ³ | 720 | 10.388,74 |
| | Escoras madeira d=10cm | 15.547,79 | kg | | 15.547,79 |
| | Pregos aço 18x27 | 20,31 | kg | | 20,31 |
| | Aço - armadura CA-50 d=1/4 a 3/8 | 7.575,12 | kg | | 7.575,12 |
| | Aço - armadura CA-60 d=1/4 a 3/8 | 3.246,48 | kg | | 3.246,48 |
| 2.2.2. | Concreto estrutural fck 21 Mpa | | | | |
| | Areia média lavada | 68,45 | m ³ | 1515 | 103.707,00 |
| | Pedra britada 1 | 83,80 | m ³ | 1650 | 138.276,00 |
| | Cimento Portland | 17,73 | m ³ | 1950 | 34.569,00 |
| 2.3. | Escada | | | | |
| 2.3.1. | Escada concreto | 5,00 | m³ | | |
| | Areia média lavada | 2,85 | m ³ | 1515 | 4.312,50 |
| | Pedra britada 1 | 3,48 | m ³ | 1650 | 5.750,00 |
| | Cimento Portland | 0,74 | m ³ | 1950 | 1.437,50 |
| | Aço - armadura CA-50 d=1/4 a 3/8 | 500,00 | kg | | 500,00 |
| 2.3.2. | Guarda-corpo h=90cm | | | | |
| | Grade de ferro (20 m ²) | 0,52 | m ³ | 7870 | 4.092,40 |
| | Corrimão de ferro (80 m) | 3,20 | m ³ | 7870 | 25.184,00 |

| 3 | <i>Alvenarias</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
|---------------|---|------------|----------------|------------------|-----------------|
| 3.1. | Paredes e painéis | | | | |
| 3.1.1. | <i>Blocos e tijolos</i> | | | | |
| | Blocos cerâmicos | 190,44 | m ³ | 1400 | 266.616,00 |
| 3.1.2. | <i>Argamassa assentamento blocos 1:2:8</i> | 16,94 | m ³ | - | |
| | Areia média lavada | 15,12 | m ³ | 1515 | 22.911,15 |
| | Cal hidratada CH III | 3,82 | m ³ | 1500 | 5.727,79 |
| | Cimento Portland | 1,47 | m ³ | 1950 | 2.863,89 |
| 3.2 | Revestimento de paredes | - | | | |
| 3.2.1 | <i>Chapisco traço 1:3</i> | 4,71 | m ³ | - | |
| | Areia média lavada | 4,34 | m ³ | 1515 | 6.568,11 |
| | Cimento Portland | 1,03 | m ³ | 1950 | 2.015,96 |
| 3.2.2 | <i>Massa única (emboço) 1:2:9</i> | 9,42 | m ³ | - | |
| | Areia média lavada | 8,67 | m ³ | 1515 | 13.136,23 |
| | Cal hidratada CH III | 1,95 | m ³ | 1500 | 2.919,16 |
| | Cimento Portland | 0,75 | m ³ | 1950 | 1.459,58 |
| 4 | <i>Acabamento de parede</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 4.1. | <i>Azulejos</i> | 316,80 | m ² | - | |
| | Azulejo | 1,90 | m ³ | 2000 | 3.801,60 |
| 4.1.1. | <i>Argamassa assentamento 1:2:8</i> | 4,75 | m ³ | - | |
| | Areia média lavada | 4,24 | m ³ | 1515 | 6.428,16 |
| | Cal hidratada CH III | 1,07 | m ³ | 1500 | 1.607,04 |
| | Cimento Portland | 0,41 | m ³ | 1950 | 803,52 |
| | Cimento branco não estrutural | 0,16 | m ³ | 1950 | 308,88 |
| 5 | <i>Esquadrias</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 6 | <i>Cobertura e proteções</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 6.1. | Telhado | | | | |
| 6.1.1. | | | | | |
| | Madeira – peroba | 2,44 | m ³ | 720 | 1.756,80 |
| | Pregos aço 18x27 | 16,00 | kg | | 16,00 |
| | Telha fibrocimento 8mm i=27% (18 kgf/m ²) | 1,72 | m ³ | 1920 | 3.294,72 |
| | Cumeeria articulada de fibrocimento | 0,03 | m ³ | 1920 | 65,89 |
| | Algeroz chapa galvanizada | 0,13 | m ³ | 7850 | 1.055,04 |
| 6.2. | Proteções | 58,00 | m ² | | |
| | Lona contrapiso (polietileno alta densidade) | 0,20 | m ³ | 950 | 190,00 |
| | Impermeabilização banheiros | 7,25 | kg | | 7,25 |
| 6.3. | Forros | | | | |
| | Forro PVC banheiros | 0,58 | m ³ | 1300 | 754,00 |
| 7 | <i>Pisos</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
| 7.1. | Pisos internos | | | | |
| 7.1.1. | <i>Argamassa regularização de base</i> | 15,03 | m ³ | | |
| | Areia média lavada | 13,84 | m ³ | 1515 | 20.966,85 |
| | Cal hidratada CH III | 4,66 | m ³ | 1500 | 6.988,95 |
| 7.1.2. | <i>Cerâmica esmaltada com argamassa mista</i> | 1.002,00 | m ² | | |
| | Cerâmica comum | 10,02 | m ³ | 2083 | 20.871,66 |
| | Areia média lavada | 8,95 | m ³ | 1515 | 13.554,33 |
| | Cal hidratada CH III | 2,26 | m ³ | 1500 | 3.388,58 |
| | Cimento Portland | 0,87 | m ³ | 1950 | 1.694,29 |
| 8 | <i>Instalações</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |

| 9 | <i>Pintura</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |
|-------------|--|------------|------------------|------------------|-----------------|
| 9.1. | Pintura forros e paredes internas | | | | |
| | Selador acrílico pigmentado | 2.129,00 | m ² | 1,30 | 332,12 |
| | Tinta PVA látex (2 demãos) | 4.258,00 | m ² | 1,30 | 664,25 |
| 9.2. | Pintura paredes externas | | | | |
| | Selador acrílico pigmentado | 573,00 | m ² | 1,30 | 89,39 |
| | Tinta acrílica (2 demãos) | 1.146,00 | m ² | 1,30 | 178,78 |
| 9.3. | Pintura em esquadrias madeira | 60,00 | port as 80 | 20 | portas 70 |
| | Tinta esmalte (2 demãos) | 260,40 | m ² | | 64,30 |
| 10 | <i>Serviços complementares</i> | Qtd | Und | Densidade | Total kg |

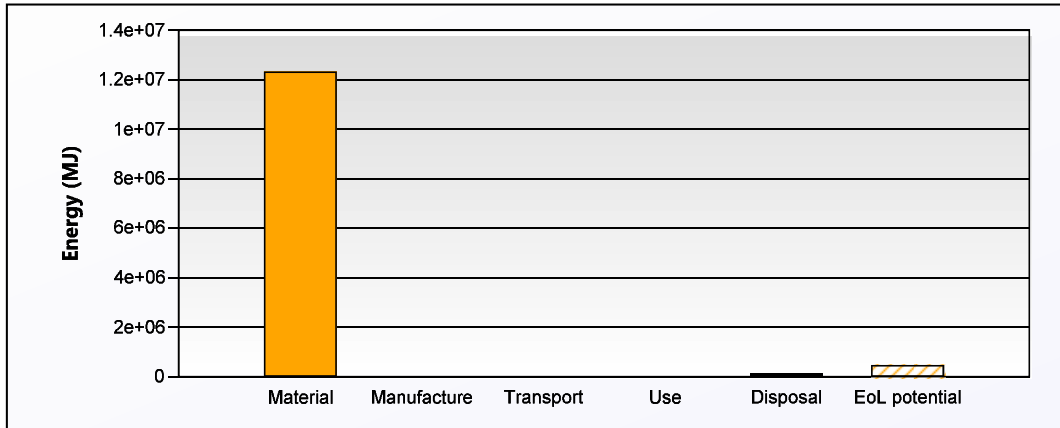
APÊNDICE C

Dados extraídos do *Software CES Selector* quanto a EI e emissão de CO₂ dos projetos

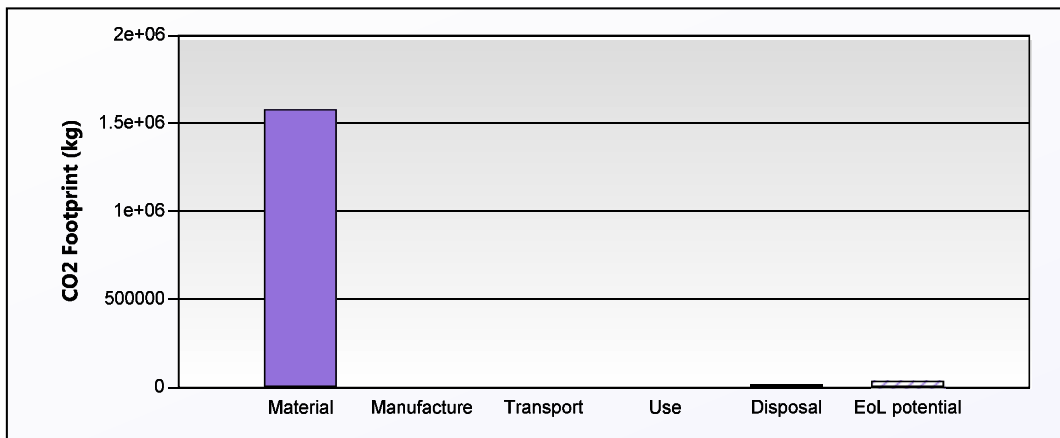
Eco Audit Report

Product Name P 1A
Product Life (years) 1

Energy and CO2 Footprint Summary:



[Energy Details...](#)



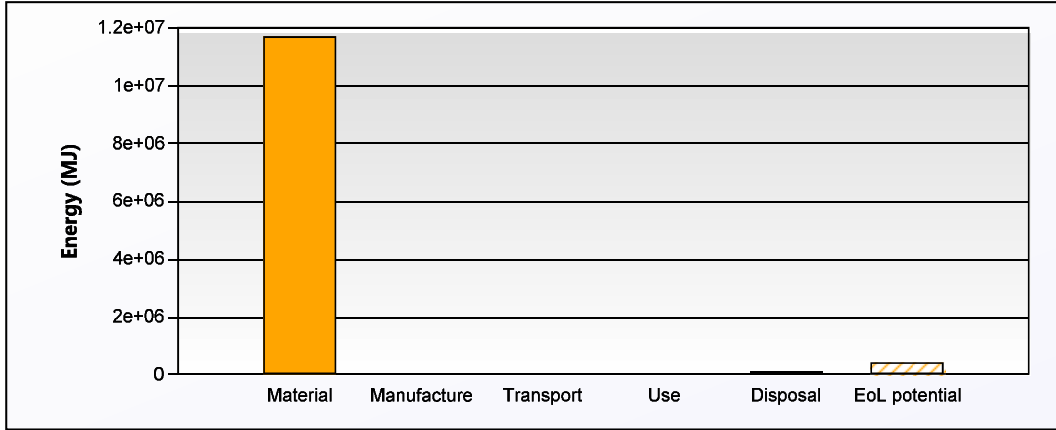
[CO2 Details...](#)

| Phase | Energy (MJ) | Energy (%) | CO2 (kg) | CO2 (%) |
|------------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| Material | 1.24e+07 | 98.5 | 1.58e+06 | 99.2 |
| Manufacture | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Transport | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Use | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Disposal | 1.85e+05 | 1.5 | 1.3e+04 | 0.8 |
| Total (for first life) | 1.25e+07 | 100 | 1.59e+06 | 100 |
| End of life potential | 4.81e+05 | | 3.33e+04 | |

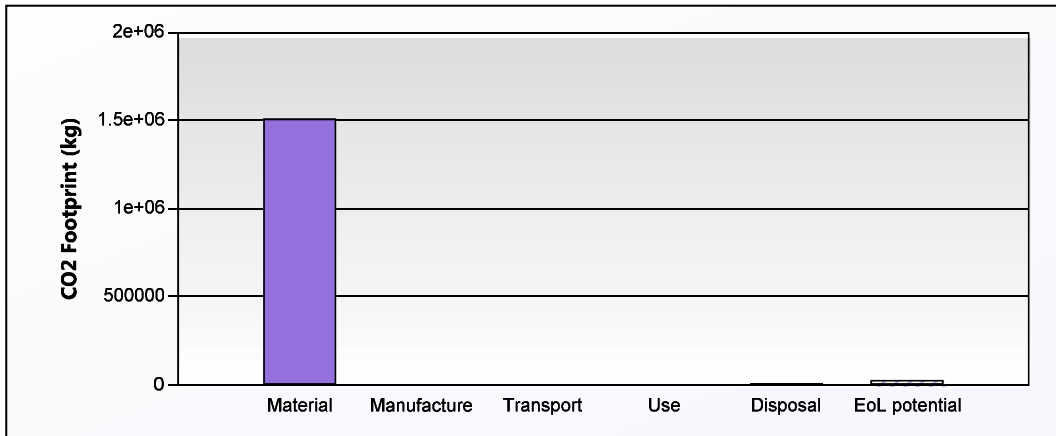
Eco Audit Report

Product Name P 2A
 Product Life (years) 1

Energy and CO2 Footprint Summary:



[Energy Details...](#)



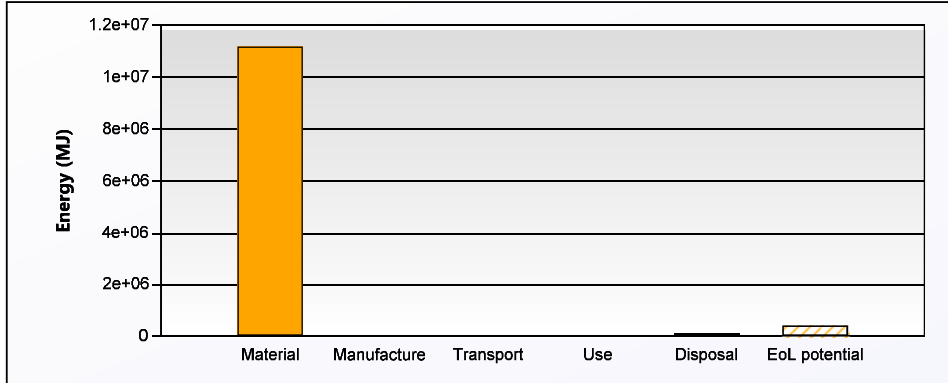
[CO2 Details...](#)

| Phase | Energy (MJ) | Energy (%) | CO2 (kg) | CO2 (%) |
|-------------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| Material | 1.17e+07 | 98.6 | 1.51e+06 | 99.2 |
| Manufacture | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Transport | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Use | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Disposal | 1.65e+05 | 1.4 | 1.15e+04 | 0.8 |
| Total (for first life) | 1.19e+07 | 100 | 1.52e+06 | 100 |
| End of life potential | 4.12e+05 | | 2.86e+04 | |

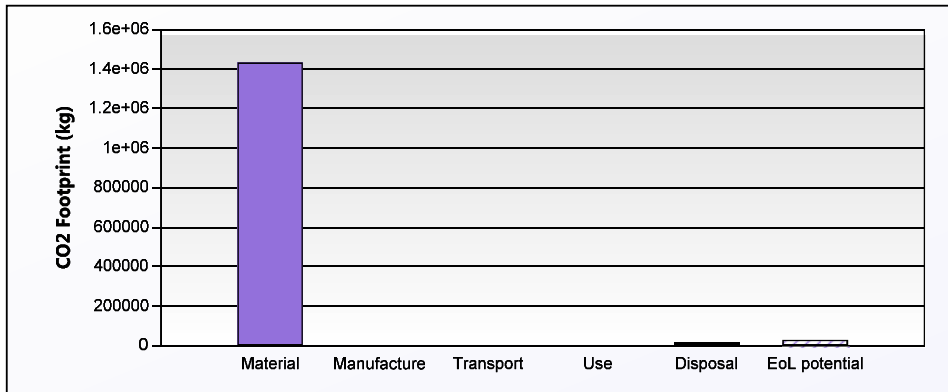
Eco Audit Report

Product Name P 3A
 Product Life (years) 1

Energy and CO2 Footprint Summary:



[Energy Details...](#)



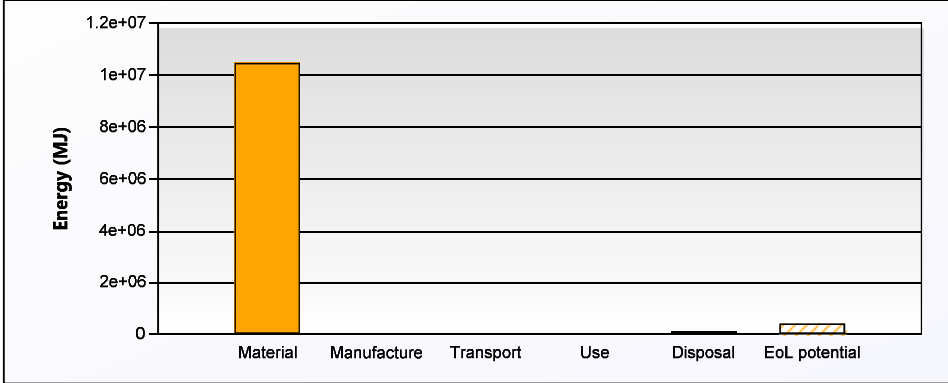
[CO2 Details...](#)

| Phase | Energy (MJ) | Energy (%) | CO2 (kg) | CO2 (%) |
|------------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| Material | 1.12e+07 | 98.6 | 1.44e+06 | 99.2 |
| Manufacture | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Transport | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Use | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Disposal | 1.59e+05 | 1.4 | 1.12e+04 | 0.8 |
| Total (for first life) | 1.14e+07 | 100 | 1.45e+06 | 100 |
| End of life potential | 4.22e+05 | | 2.94e+04 | |

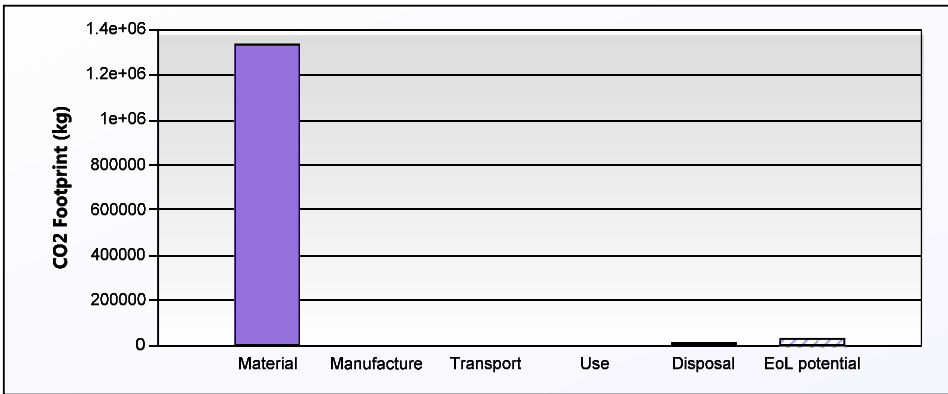
Eco Audit Report

Product Name P 4A
 Product Life (years) 1

Energy and CO2 Footprint Summary:



[Energy Details...](#)



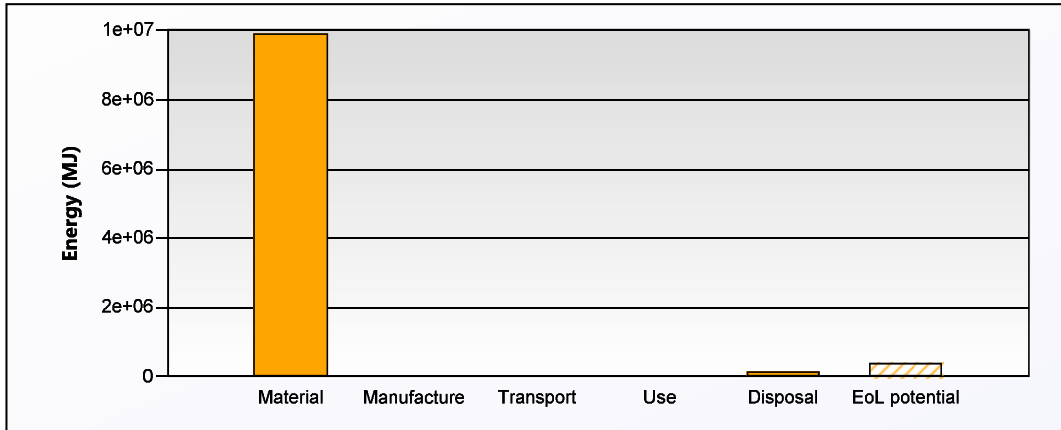
[CO2 Details...](#)

| Phase | Energy (MJ) | Energy (%) | CO2 (kg) | CO2 (%) |
|-------------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| Material | 1.05e+07 | 98.5 | 1.34e+06 | 99.2 |
| Manufacture | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Transport | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Use | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Disposal | 1.55e+05 | 1.5 | 1.08e+04 | 0.8 |
| Total (for first life) | 1.07e+07 | 100 | 1.35e+06 | 100 |
| End of life potential | 4.25e+05 | | 2.96e+04 | |

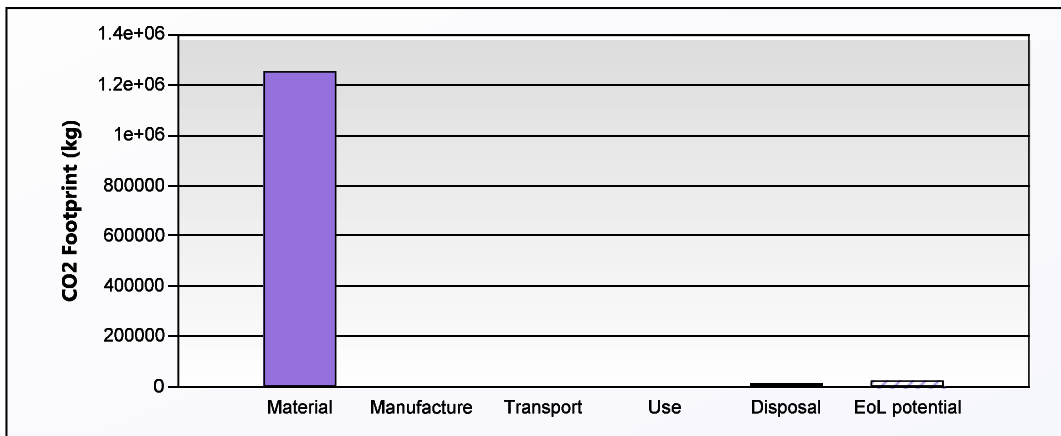
Eco Audit Report

Product Name P 5A
 Product Life (years) 1

Energy and CO2 Footprint Summary:



[Energy Details...](#)



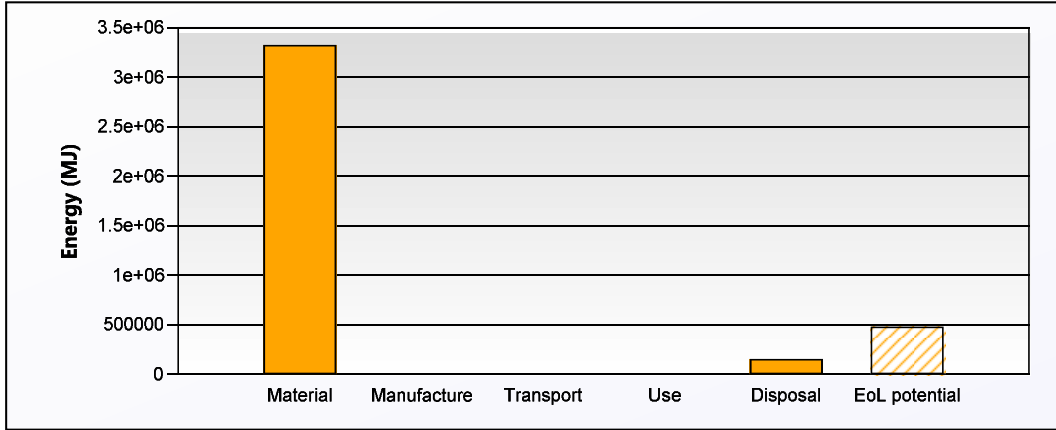
[CO2 Details...](#)

| Phase | Energy (MJ) | Energy (%) | CO2 (kg) | CO2 (%) |
|-------------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| Material | 9.92e+06 | 98.5 | 1.25e+06 | 99.2 |
| Manufacture | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Transport | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Use | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Disposal | 1.48e+05 | 1.5 | 1.03e+04 | 0.8 |
| Total (for first life) | 1.01e+07 | 100 | 1.26e+06 | 100 |
| End of life potential | 3.89e+05 | | 2.69e+04 | |

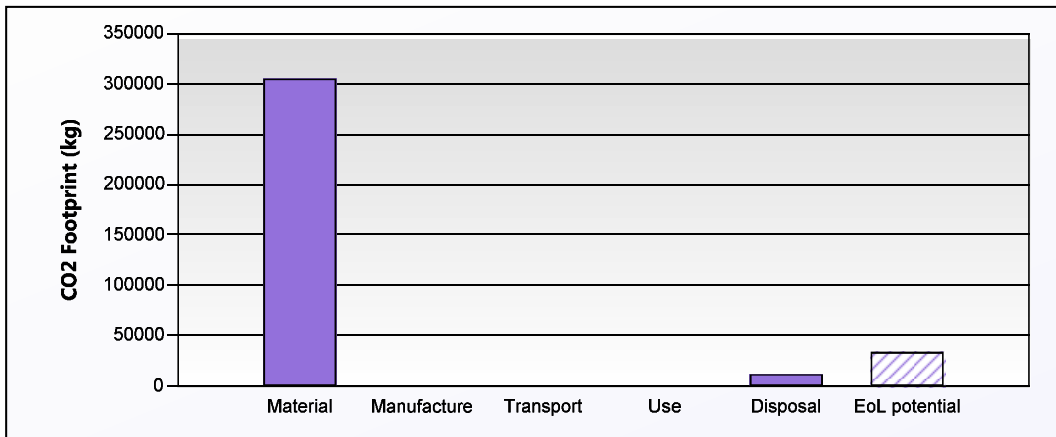
Eco Audit Report

Product Name P 1B
 Product Life (years) 1

Energy and CO2 Footprint Summary:



[Energy Details...](#)



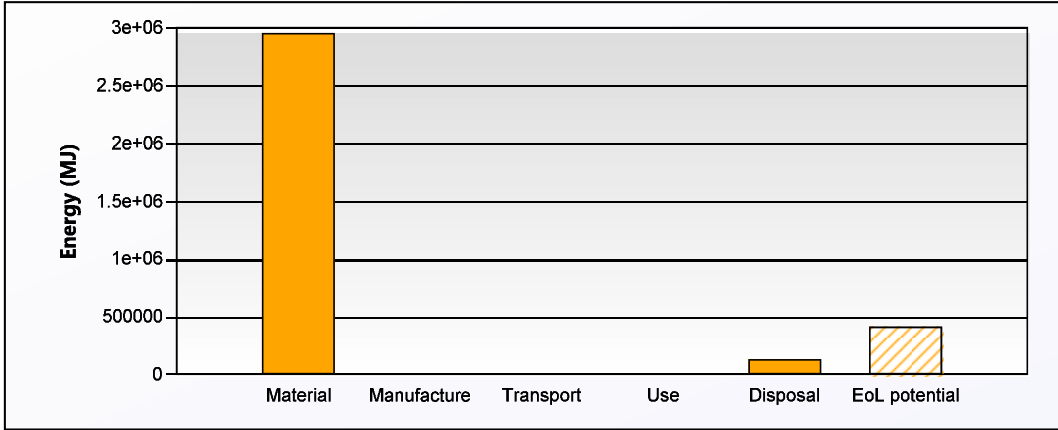
[CO2 Details...](#)

| Phase | Energy (MJ) | Energy (%) | CO2 (kg) | CO2 (%) |
|-------------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| Material | 3.33e+06 | 95.4 | 3.05e+05 | 96.5 |
| Manufacture | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Transport | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Use | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Disposal | 1.59e+05 | 4.6 | 1.11e+04 | 3.5 |
| Total (for first life) | 3.49e+06 | 100 | 3.16e+05 | 100 |
| End of life potential | 4.81e+05 | | 3.33e+04 | |

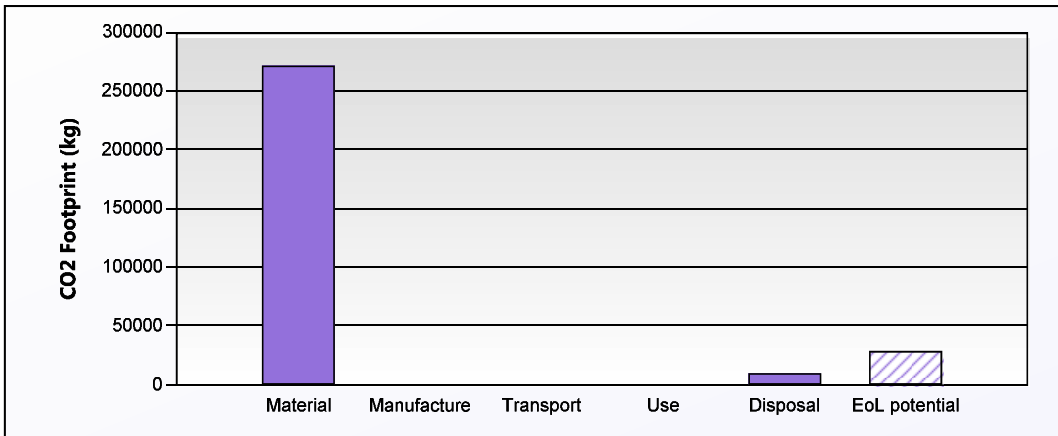
Eco Audit Report

Product Name P 2B
 Product Life (years) 1

Energy and CO2 Footprint Summary:



[Energy Details...](#)



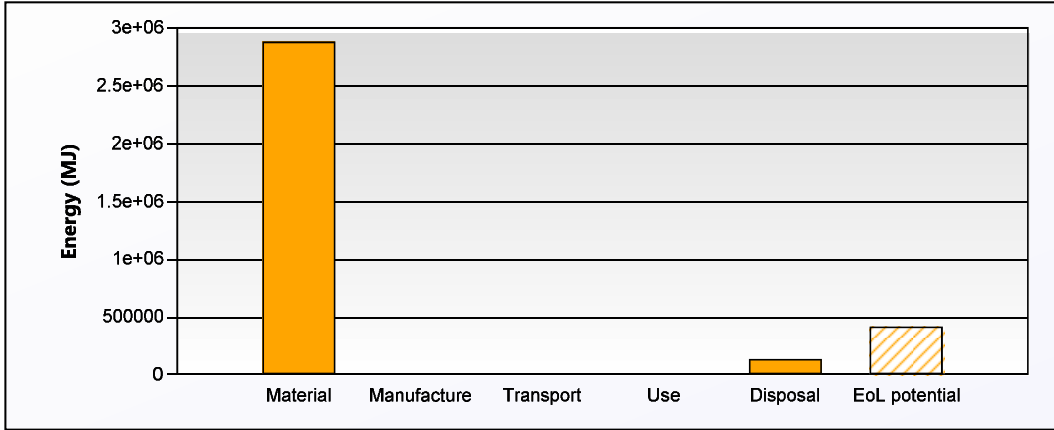
[CO2 Details...](#)

| Phase | Energy (MJ) | Energy (%) | CO2 (kg) | CO2 (%) |
|-------------------------------|----------------|------------|-----------------|------------|
| Material | 2.96e+06 | 95.5 | 2.72e+05 | 96.5 |
| Manufacture | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Transport | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Use | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Disposal | 1.4e+05 | 4.5 | 9.77e+03 | 3.5 |
| Total (for first life) | 3.1e+06 | 100 | 2.82e+05 | 100 |
| End of life potential | 4.12e+05 | | 2.86e+04 | |

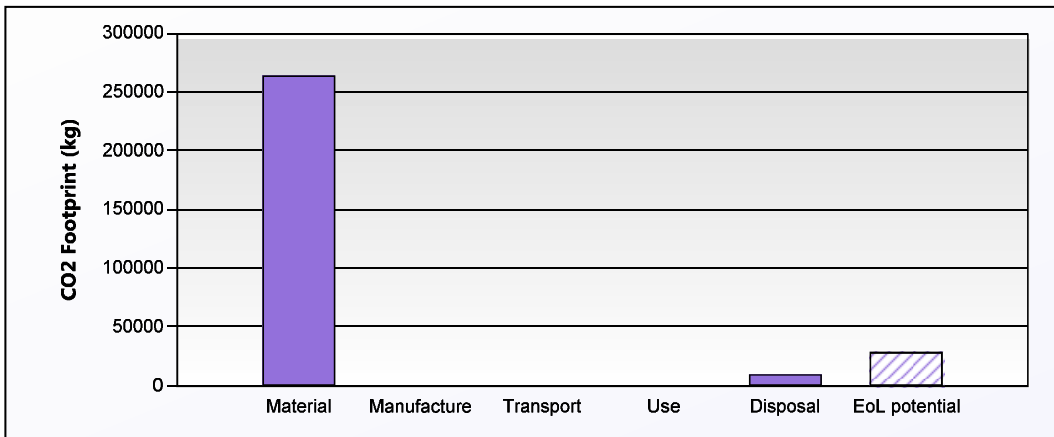
Eco Audit Report

Product Name P 3B
 Product Life (years) 1

Energy and CO2 Footprint Summary:



[Energy Details...](#)



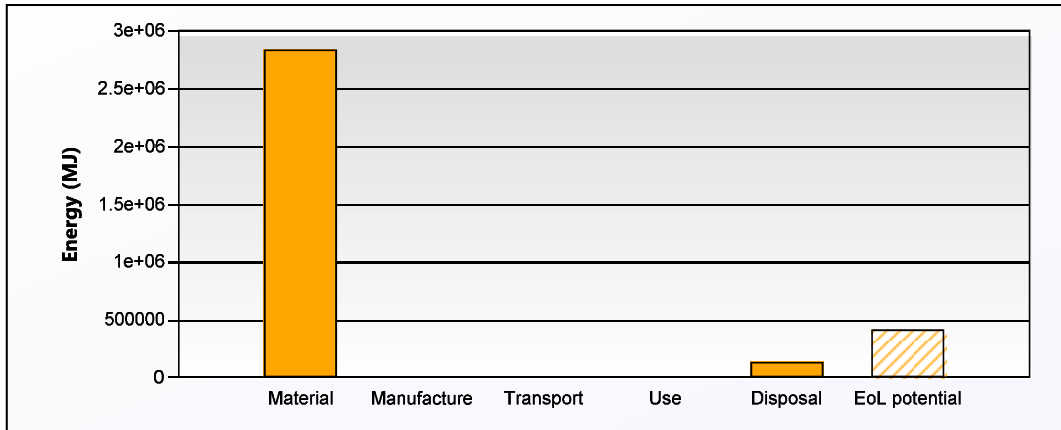
[CO2 Details...](#)

| Phase | Energy (MJ) | Energy (%) | CO2 (kg) | CO2 (%) |
|-------------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| Material | 2.88e+06 | 95.5 | 2.65e+05 | 96.5 |
| Manufacture | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Transport | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Use | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Disposal | 1.35e+05 | 4.5 | 9.47e+03 | 3.5 |
| Total (for first life) | 3.02e+06 | 100 | 2.74e+05 | 100 |
| End of life potential | 4.22e+05 | | 2.94e+04 | |

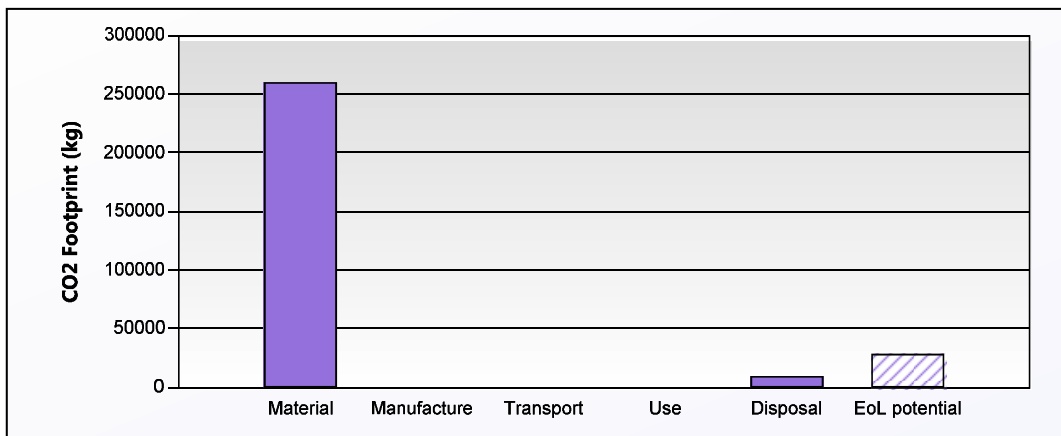
Eco Audit Report

Product Name P 4B
 Product Life (years) 1

Energy and CO2 Footprint Summary:



[Energy Details...](#)



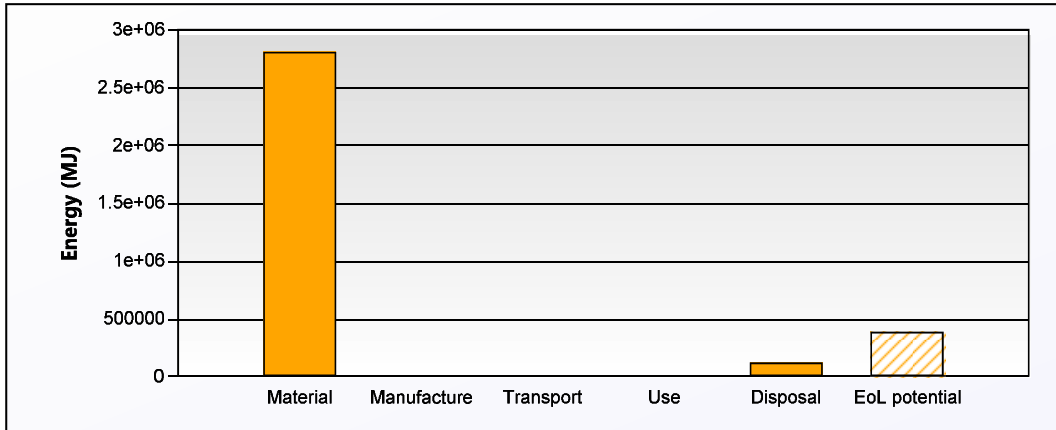
[CO2 Details...](#)

| Phase | Energy (MJ) | Energy (%) | CO2 (kg) | CO2 (%) |
|------------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| Material | 2.85e+06 | 95.6 | 2.6e+05 | 96.6 |
| Manufacture | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Transport | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Use | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Disposal | 1.32e+05 | 4.4 | 9.27e+03 | 3.4 |
| Total (for first life) | 2.98e+06 | 100 | 2.69e+05 | 100 |
| End of life potential | 4.25e+05 | | 2.96e+04 | |

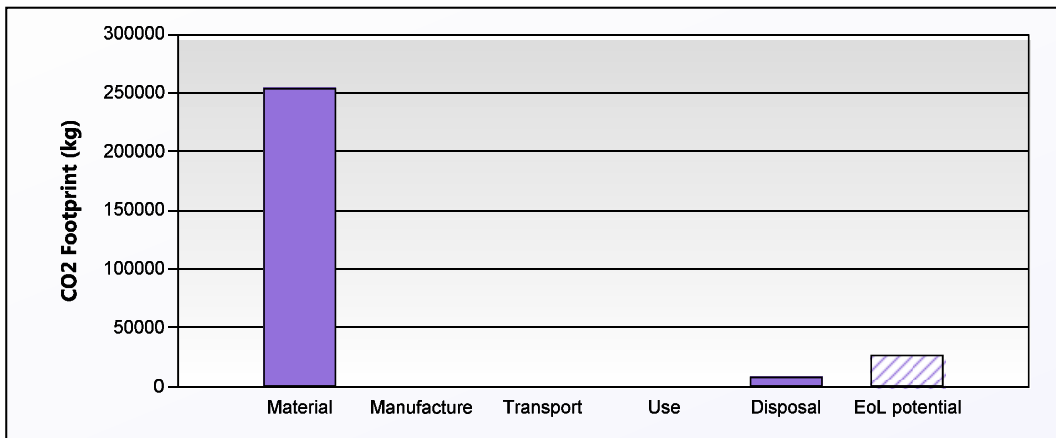
Eco Audit Report

Product Name P 5B
 Product Life (years) 1

Energy and CO2 Footprint Summary:



[Energy Details...](#)



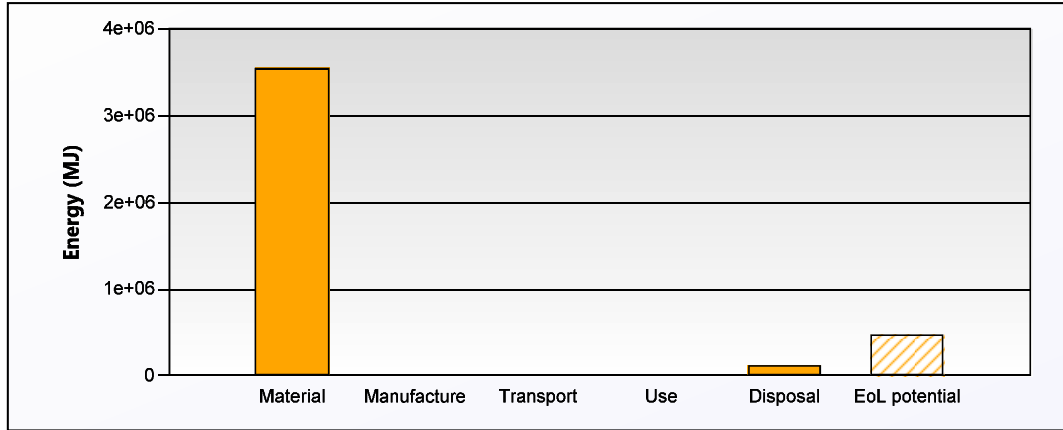
[CO2 Details...](#)

| Phase | Energy (MJ) | Energy (%) | CO2 (kg) | CO2 (%) |
|-------------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| Material | 2.81e+06 | 95.7 | 2.54e+05 | 96.6 |
| Manufacture | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Transport | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Use | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Disposal | 1.27e+05 | 4.3 | 8.91e+03 | 3.4 |
| Total (for first life) | 2.93e+06 | 100 | 2.63e+05 | 100 |
| End of life potential | 3.89e+05 | | 2.69e+04 | |

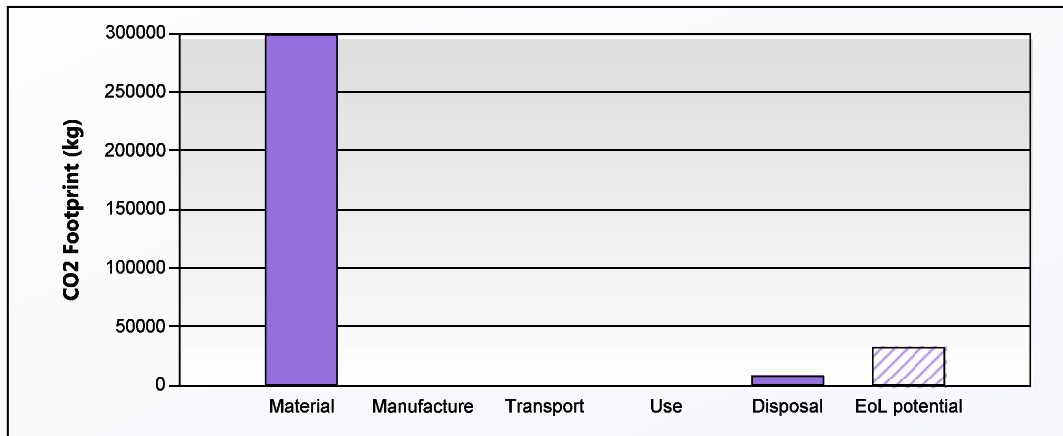
Eco Audit Report

Product Name P 1C
 Product Life (years) 1

Energy and CO2 Footprint Summary:



[Energy Details...](#)



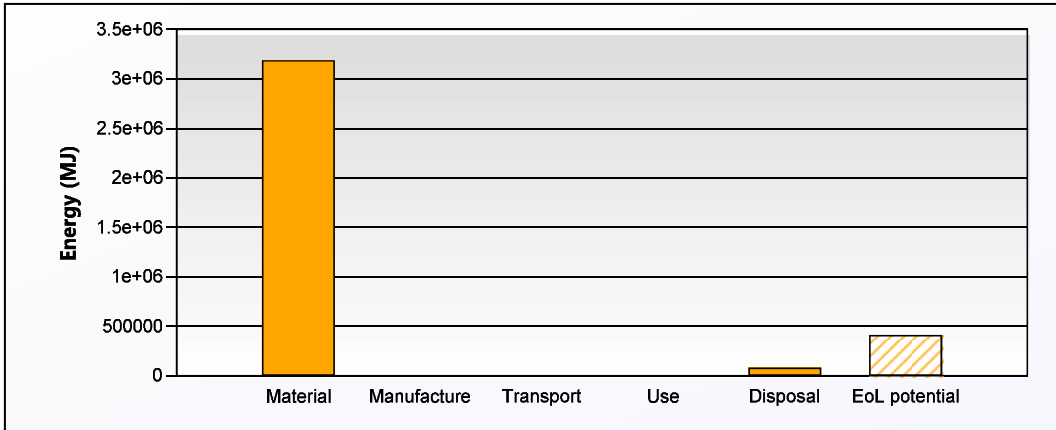
[CO2 Details...](#)

| Phase | Energy (MJ) | Energy (%) | CO2 (kg) | CO2 (%) |
|------------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| Material | 3.56e+06 | 96.9 | 3e+05 | 97.4 |
| Manufacture | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Transport | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Use | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Disposal | 1.16e+05 | 3.1 | 8.1e+03 | 2.6 |
| Total (for first life) | 3.68e+06 | 100 | 3.08e+05 | 100 |
| End of life potential | 4.81e+05 | | 3.33e+04 | |

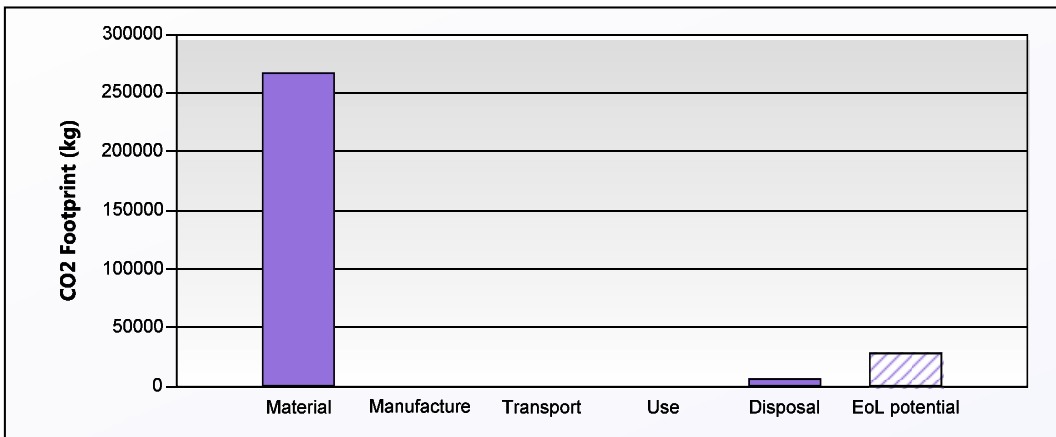
Eco Audit Report

Product Name P 2C
 Product Life (years) 1

Energy and CO2 Footprint Summary:



[Energy Details...](#)



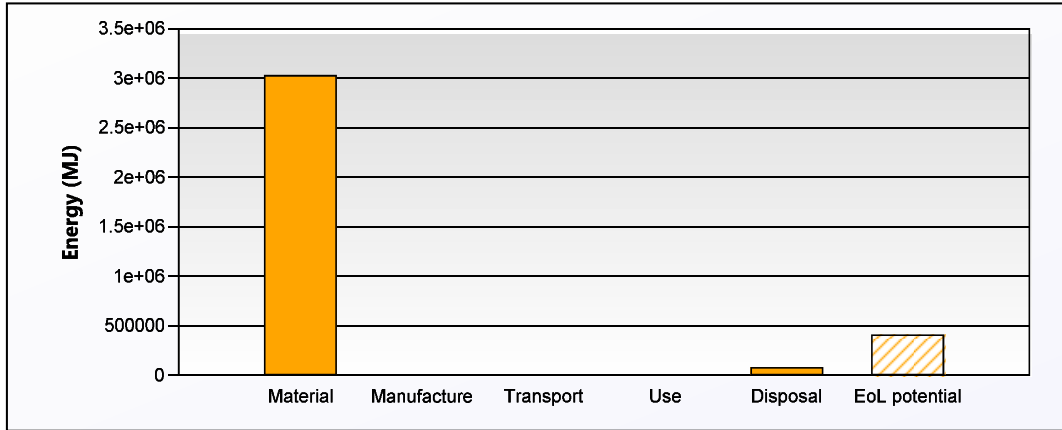
[CO2 Details...](#)

| Phase | Energy (MJ) | Energy (%) | CO2 (kg) | CO2 (%) |
|------------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| Material | 3.19e+06 | 97.0 | 2.68e+05 | 97.5 |
| Manufacture | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Transport | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Use | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Disposal | 9.73e+04 | 3.0 | 6.81e+03 | 2.5 |
| Total (for first life) | 3.29e+06 | 100 | 2.74e+05 | 100 |
| End of life potential | 4.12e+05 | | 2.86e+04 | |

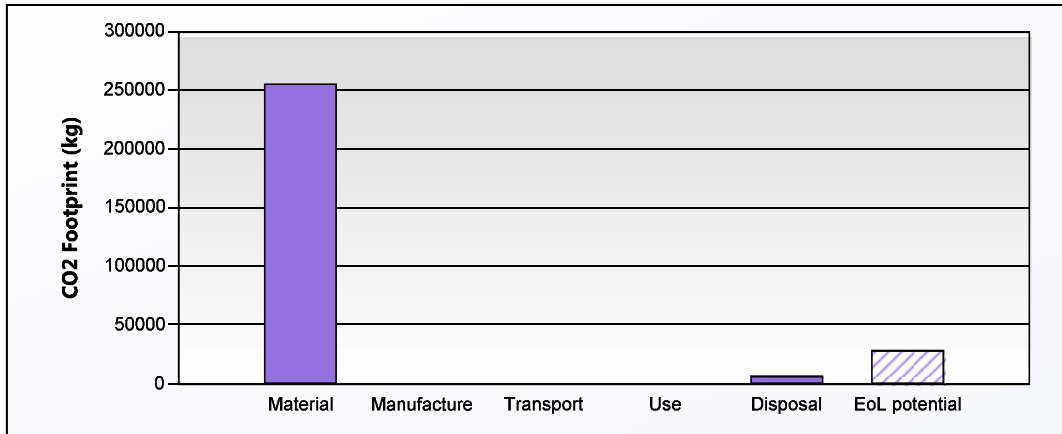
Eco Audit Report

Product Name P 3C
 Product Life (years) 1

Energy and CO2 Footprint Summary:



[Energy Details...](#)



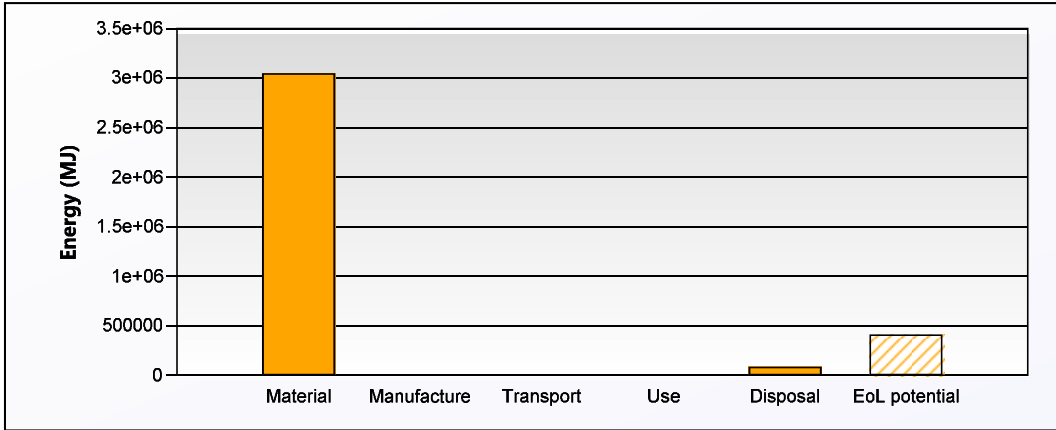
[CO2 Details...](#)

| Phase | Energy (MJ) | Energy (%) | CO2 (kg) | CO2 (%) |
|------------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| Material | 3.04e+06 | 97.0 | 2.55e+05 | 97.5 |
| Manufacture | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Transport | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Use | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Disposal | 9.49e+04 | 3.0 | 6.65e+03 | 2.5 |
| Total (for first life) | 3.13e+06 | 100 | 2.62e+05 | 100 |
| End of life potential | 4.22e+05 | | 2.94e+04 | |

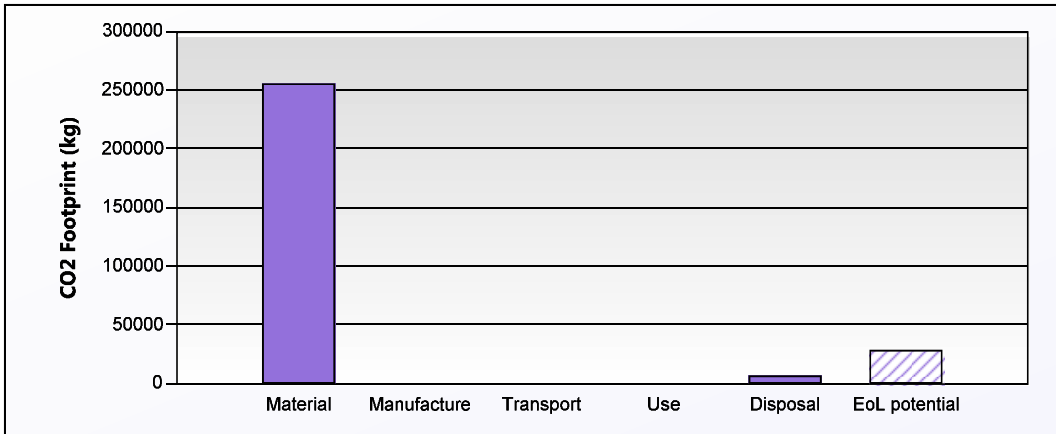
Eco Audit Report

Product Name P 4C
 Product Life (years) 1

Energy and CO2 Footprint Summary:



[Energy Details...](#)



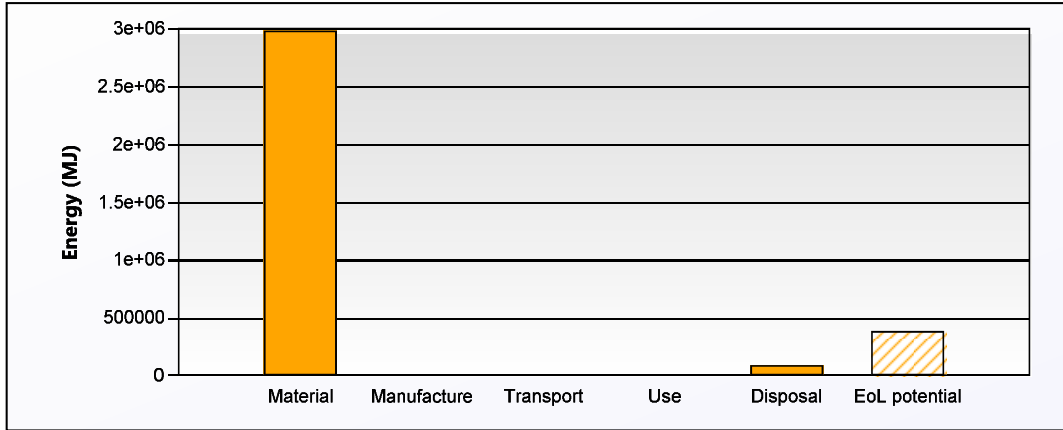
[CO2 Details...](#)

| Phase | Energy (MJ) | Energy (%) | CO2 (kg) | CO2 (%) |
|-------------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| Material | 3.06e+06 | 97.0 | 2.56e+05 | 97.5 |
| Manufacture | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Transport | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Use | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Disposal | 9.56e+04 | 3.0 | 6.69e+03 | 2.5 |
| Total (for first life) | 3.15e+06 | 100 | 2.63e+05 | 100 |
| End of life potential | 4.25e+05 | | 2.96e+04 | |

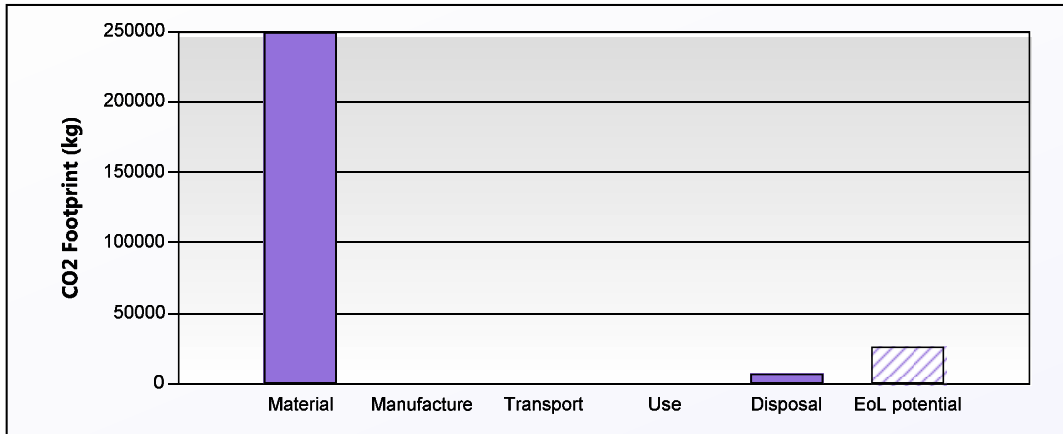
Eco Audit Report

Product Name P 5C
 Product Life (years) 1

Energy and CO2 Footprint Summary:



[Energy Details...](#)



[CO2 Details...](#)

| Phase | Energy (MJ) | Energy (%) | CO2 (kg) | CO2 (%) |
|------------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| Material | 2.99e+06 | 97.0 | 2.56e+05 | 97.5 |
| Manufacture | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Transport | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Use | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Disposal | 9.31e+04 | 3.0 | 6.52e+03 | 2.5 |
| Total (for first life) | 3.08e+06 | 100 | 2.56e+05 | 100 |
| End of life potential | 3.89e+05 | | 2.69e+04 | |

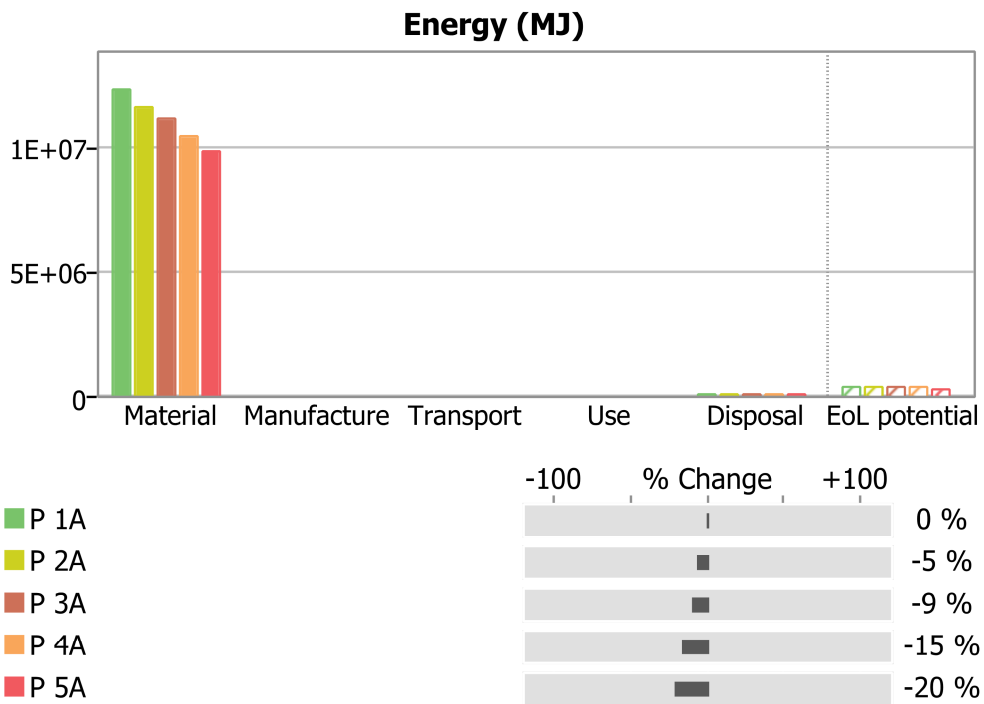
ANEXOS

ANEXO A

Gráficos de EI dos projetos por sistema construtivo (A, B e C) - gerados no *Software CES Selector*

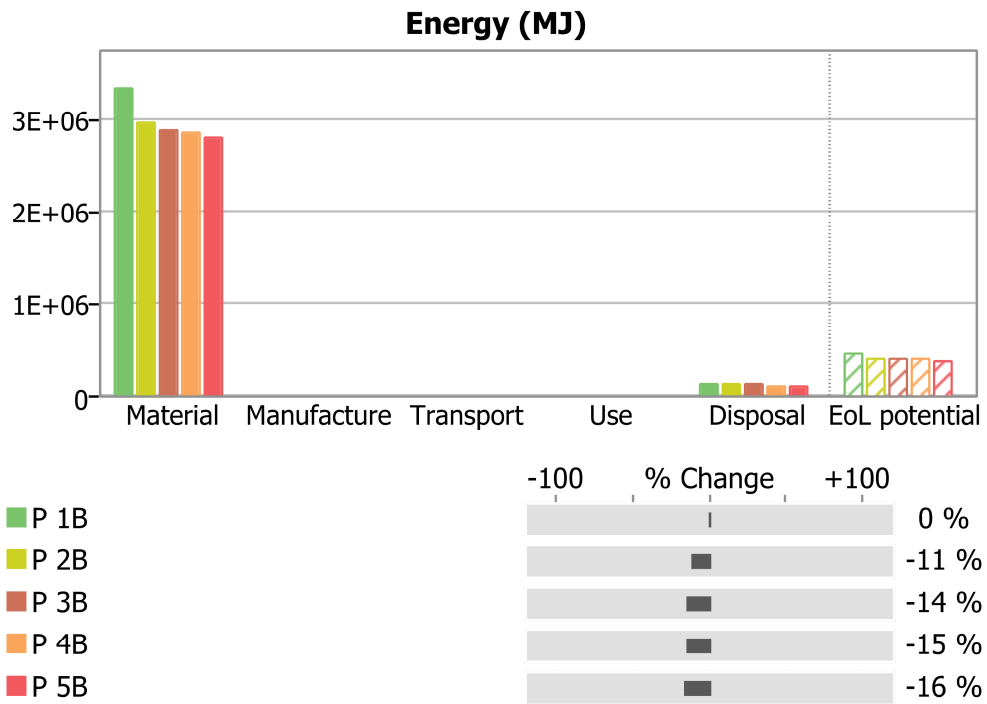


Eco Audit Summary





Eco Audit Summary





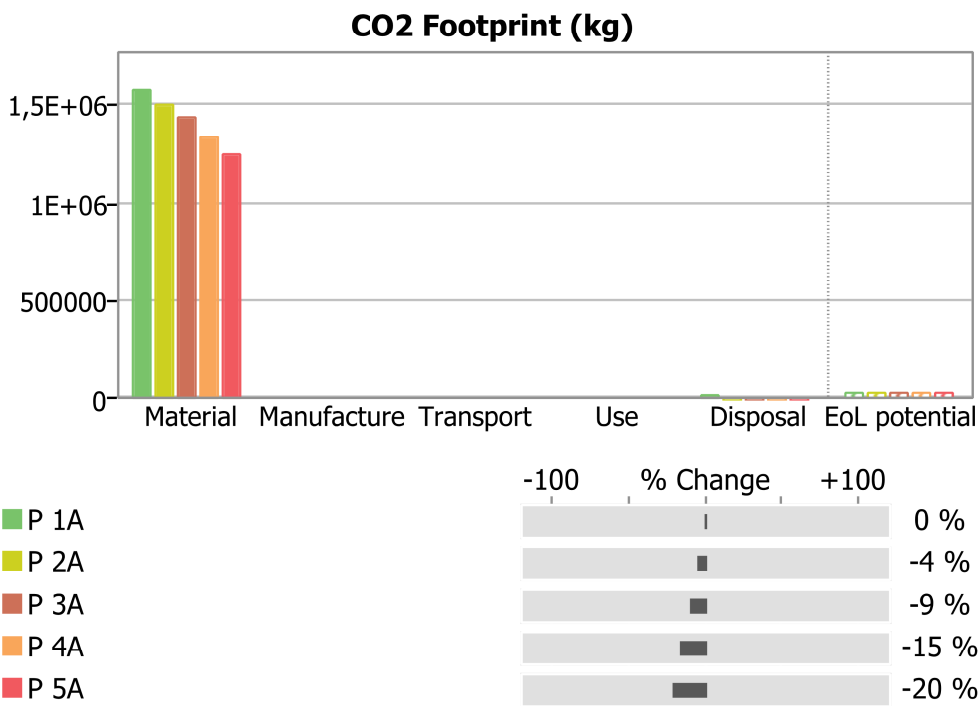
Eco Audit Summary

ANEXO B

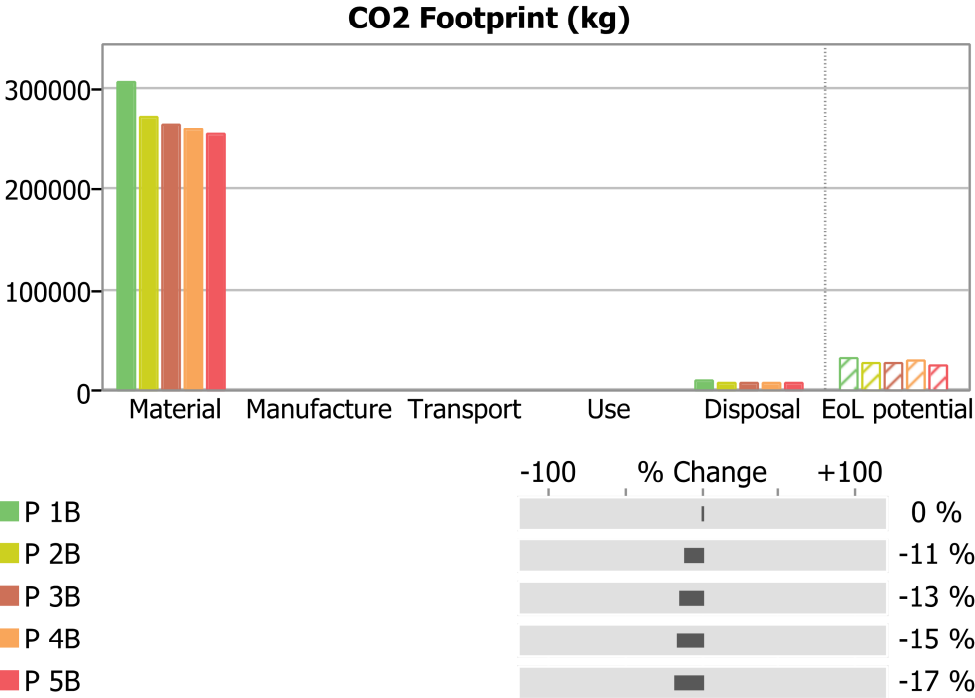
Gráficos de emissões de CO₂ dos projetos por sistema construtivo (A, B e C) - gerados no Software CES Selector



Eco Audit Summary



Eco Audit Summary





Eco Audit Summary
