



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

Departamento de Engenharia Mecânica

TRABALHO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA

**ANÁLISE COMPARATIVA DO CICLO DE VIDA ENTRE O BLOCO DE
BETÃO E CERÂMICA**

Autor:

Zunguze, Ladino José

Supervisor:

Prof. Jorge Olívio Penicela Nhambiu, Eng^o

Co-Supervisora:

Msc. Isaura Tobela, Eng^a

Maputo, Agosto de 2025

Autor:

Zunguze, Ladino José

TRABALHO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA

**ANÁLISE COMPARATIVA DO CICLO DE VIDA ENTRE O BLOCO DE
BETÃO E CERÂMICA**

Trabalho de Licenciatura apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane como parte dos requisitos para conclusão do curso de Licenciatura em Engenharia em Mecânica.

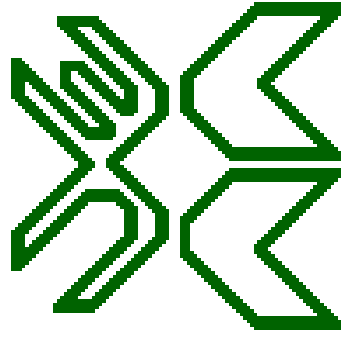
Supervisor:

Prof. Jorge Olívio Penicela Nhambiu, Eng^o

Co-Supervisora:

Msc. Isaura Tobela, Eng^a

Maputo, Agosto de 2025



ANÁLISE COMPARATIVA DO CICLO DE VIDA ENTRE O BLOCO
DE BETÃO E CERÂMICA

Zunguze, Ladino José



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

Departamento de Engenharia Mecânica

TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante, **Zunguze, Ladino José** entregou no dia _____ de Agosto de 2025 as _____ cópias do relatório do seu Trabalho de Licenciatura com a referência: _____, intitulado: **Análise Comparativa do Ciclo De Vida Entre o Bloco De Betão e Cerâmica**

Maputo, _____ de Agosto de 2025

O/A Chefe da Secretaria

Este exemplar foi revisto e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência dos Supervisores.

(Zunguze, Ladino José)

Autor

(Prof. Jorge Olívio Penicela Nhambiu, Eng^o)

Supervisor

(Msc. Isaura Tobela, Eng^a)

Co-Supervisora

Data de Aprovação: _____ / _____ / _____

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, Luísa Seneta Tsovelua, pelo amor incondicional, pela força silenciosa e pelo apoio constante em cada passo do meu percurso.

E, com especial emoção, dedico à memória do meu pai, José Jeremias Zunguze, que, embora já não esteja fisicamente entre nós, permanece eternamente presente no meu coração.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, fonte de vida, sabedoria e força, por me ter sustentado ao longo desta caminhada acadêmica, mesmo nos momentos de maior incerteza e cansaço.

Aos meus pais José Jeremias Zunguze (in memoriam) e Luísa Seneta Tsovelua, aos meus irmãos Baltazar Zunguze, Helena Zunguze, Sofia Zunguze, Jeremias Zunguze, bem como aos meus tios Jonas Zunguze, Linda Zunguze e Adriano Mendes, e a toda minha família no seu todo, mesmo sem nomeação expressa, agradeço profundamente pela educação, pelos valores e pelo amor incondicional que sempre me transmitiram.

Ao meu Supervisor, Professor Doutor Eng^o. Jorge Olivio Penicela Nhambiu, expresso o meu mais sincero reconhecimento pela supervisão atenta, pelo rigor científico, pela disponibilidade permanente e pelas críticas construtivas que foram determinantes para o amadurecimento deste trabalho. Agradeço igualmente à minha Co-supervisora, Eng^a Isaura Tobela, pelo seu apoio e orientação que enriqueceram a minha pesquisa.

Aos meus amigos Marcelo Albuquerque, Albino Milambo e Aurélio Costa que muito contribuíram com ideias sobre esta pesquisa.

Aos meus amigos Dirceu Boca, Hugo Chea, Jorge Durão, Juvêncio Chimbutane, Micas Sarmento, agradeço pelas partilhas, pelo estímulo intelectual e pelas experiências que enriqueceram esta etapa ainda mais significativa.

Aos meus amigos Charles Baloi, Pedro Amilai, Vivaldo de Castro e Edson Chembele agradeço pela amizade e pelo encorajamento constante.

E por último, mas não menos importante aos meus amigos do ensino secundário, Arcénio Marane, Berson Muhacha, Hélder Nhamache, Lúcio Cumbe, Manuel Macumo e Guivénio Muhacha, a todos amigos e companheiros de jornada, que souberam compreender a minha ausência em momentos importantes, mas nunca deixaram de apoiar e acreditar. A vossa amizade é, sem dúvida, um dos maiores tesouros desta fase da vida.

Muito obrigado.

"Pensar grande exige o mesmo esforço que pensar em pequeno."

— *Grant Cardone*

ÍNDICE

DEDICATÓRIA	I
AGRADECIMENTOS	II
ÍNDICE	IV
RESUMO.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
Lista de Figura	X
Lista de Tabelas	XII
Lista de abreviaturas	XIII
Lista de Símbolos.....	XIV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES.....	1
1.1. OBJECTIVOS.....	2
1.1.1. Objectivo Geral.....	2
1.1.2. Objectivos Específicos	2
2. REVISÃO DA LITERATURA	3
2.1 SUSTENTABILIDADE.....	3
2.2 Prosta do Trabalho	5
3. MATERIAIS E MÉTODOS	6
3.1 MATERIAIS CONSTITUINTES	6
3.1.1 Bloco de Betão.....	6
3.1.2 Bloco Cerâmico	10
3.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	14
3.2.1 Recurso Utilizado	15
3.2.2 Normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006.....	16
3.2.3 Definição do Objectivo e Âmbito.....	17

3.2.4	Análise de Inventário.....	18
3.2.5	Avaliação de Impactos.....	19
3.2.6	Interpretação	20
3.2.7	Método de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida	21
3.3	RESISTÊNCIAS TÉRMICAS.....	23
3.3.1	Lei de Fourier	23
3.3.2	Lei de Resfriamento de Newton	23
3.3.3	Resistência Térmica em Paredes Planas.....	24
3.3.4	Cálculo das Resistência Equivalente Para o Bloco Cerâmico.....	25
3.3.5	Cálculo das Resistência Equivalente para o Bloco de Betão.....	28
3.4	ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO	30
3.4.1	Som.....	30
3.4.2	Frequência (f).....	31
3.4.3	O Ouvido Humano.....	31
3.4.4	O Ruído.....	32
3.4.5	Isolamento Acústico	33
3.4.6	Determinação da Massa Específica (ρ)	34
3.4.7	Cálculo da Massa Específica Superficial (ρA)	34
3.4.8	Avaliação da Perda de Transmissão Sonora (PT)	34
3.5	CUSTO DO CICLO DE VIDA.....	35
3.5.1	Relações Volumétricas e Mássicas entre Blocos.....	35
3.5.1	Definição da Unidade Funcional (UF) e Massa da Unidade Funcional (mUF)	35
3.5.2	Cálculo do Custo do Ciclo de Vida	36
3.6	FORMULAÇÃO E DESCRIÇÃO MODELO MATEMÁTICO DECISIONAL	36
3.6.1	Atribuição de Pesos aos Critérios (μ)	36
3.6.2	Normalização e Quantificação da Vantagem (θi)	37
3.6.3	O Índice da Melhor Alternativa (MA)	38

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	39
4.1 IMPACTOS AMBIENTAIS	39
4.1.1 Normalização dos Impactos Ambientais	39
4.1.2 Caracterização dos Impactos Ambientais.....	40
4.2 RESISTÊNCIAS TÉRMICAS	43
4.2.1 Resistência Térmica de Blocos Maciços	44
4.2.2 Resistência Térmica de Blocos Ocos.....	45
4.3 DESEMPENHO ACÚSTICO	46
4.4 CUSTO DO CICLO DE VIDA.....	47
4.5 PROPOSTA DA MELHOR ALTERNATIVA	49
5. CONCLUSÕES	51
6. RECOMENDAÇÕES	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
GLOSSÁRIO	57
APÊNDICES.....	61
APENDICE A. Inventário de Produção do Bloco Cerâmico.....	62
APENDICE B. Inventário de Produção do Bloco de Betão	63
APENDICE D. Inventário de Produção do Cimento Portland	66
APENDICE E. Projecções do Bloco de Betão.....	67
APENDICE F. Projecções do Bloco de Cerâmico.....	68
APENDICE G. Árvore do Bloco de Cerâmica para a Categoria de Aquecimento Global.....	69
APENDICE H. Árvore do Bloco de Cerâmica para a Categoria de Formação do Ozono para a Saúde Humana.....	70
APENDICE I. Árvore do Bloco de Cerâmica para a Categoria de Formação do Ozono para o Ecossistema Terrestre.....	71
APENDICE J. Árvore do Bloco de Cerâmica para a Categoria de Acidificação Terrestre.....	72
APENDICE K. Árvore do Bloco de Cerâmica para a Categoria de Ecotoxicidade Terrestre ..	73

APENDICE L. Árvore do Bloco de Cerâmica para a Categoria de Ecotoxicidade em Água Doce	74
APENDICE M. Árvore do Bloco de Cerâmico para a Categoria de Ecotoxicidade Marinha ..	75
APENDICE N. Árvore do Bloco de Cerâmico para a Categoria de Toxicidade Terrestre Humana	76
APENDICE O. Árvore do Bloco de Betão para a Categoria de Aquecimento Global.....	77
APENDICE P. Árvore do Bloco de Betão para a Categoria de Formação do Ozono para a Saúde Humana	78
APENDICE Q. Árvore do Bloco de Betão para a Categoria de Formação do Ozono para o Ecossistema Terrestre.....	79
APENDICE R. Árvore do Bloco de Betão para a Categoria de Acidificação Terrestre.....	80
APENDICE S. Árvore do Bloco de Betão para a Categoria de Ecotoxicidade Terrestre.....	81
APENDICE T. Árvore do Bloco de Cerâmica para a Categoria de Ecotoxicidade em Água Doce	82
APENDICE U. Árvore do Bloco de Betão para a Categoria de Ecotoxicidade Marinha.....	83
APENDICE V. Árvore do Bloco de Betão para a Categoria de Toxicidade Terrestre Humana	84
APENDICE W. Circuito de Resistências Térmicas do Bloco de Betão	85
APENDICE X. Circuito de Resistências Térmicas do Bloco de Cerâmica	86

RESUMO

A construção civil em Moçambique é um motor de desenvolvimento, mas enfrenta desafios ambientais significativos, sendo responsável por uma parcela considerável do consumo de energia e emissões de CO₂. Diante disso, este estudo teve como objectivo analisar e comparar o ciclo de vida de blocos de betão e de cerâmica, amplamente utilizados no país, para orientar decisões construtivas mais sustentáveis. A pesquisa avaliou o impacto ambiental, a eficiência térmica, o desempenho acústico e o custo do ciclo de vida (CCV) de ambos os materiais. Para a realização da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), foi utilizado o *software* SimaPro, e um modelo matemático multicritério foi desenvolvido para sintetizar os resultados, culminando no cálculo do Índice da Melhor Alternativa (MA). Os resultados revelaram uma vantagem significativa para o bloco cerâmico nos critérios de impactos ambientais, eficiência térmica e custo do ciclo de vida. Apesar de o bloco de betão demonstrar uma ligeira superioridade no desempenho acústico, o valor final do Índice da Melhor Alternativa (MA) de 0,488 aponta para uma vantagem global do bloco cerâmico. Conclui-se que o bloco cerâmico representa a alternativa mais vantajosa para a construção em Moçambique, promovendo maior sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida; Desempenho térmico; Análise comparativa; Simapro, Melhor Alternativa.

ABSTRACT

The civil construction sector in Mozambique is a driver of development, but it faces significant environmental challenges, being responsible for a considerable portion of energy consumption and CO_2 emissions. Therefore, this study aimed to analyze and compare the life cycle of concrete and ceramic blocks, widely used in the country, to guide more sustainable construction decisions. The research evaluated the environmental impact, thermal efficiency, acoustic performance, and life cycle cost (LCC) of both materials. For the Life Cycle Assessment (LCA), the SimaPro software was used, and a multi-criteria mathematical model was developed to synthesize the results, culminating in the calculation of the Best Alternative Index (BA). The results revealed a significant advantage for the ceramic block in terms of environmental impacts, thermal efficiency, and life cycle cost. Although the concrete block showed a slight superiority in acoustic performance, the final Best Alternative Index (BA) value of 0.488 points to a global advantage for the ceramic block. It is concluded that the ceramic block represents the most advantageous alternative for construction in Mozambique, promoting greater environmental sustainability.

Keywords: Life Cycle Assessment; Thermal Performance; Comparative Analysis; Simapro; Best Alternative.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Dimensões da Sustentabilidade [5]	3
Figura 2 - Fluxograma do processo de produção de blocos de betão [9]	7
Figura 3 - Fluxograma do processo produção de blocos de cerâmica [29].	11
Figura 4 - Entradas e Saídas definidos no ciclo de vida de um produto [7]	14
Figura 5 - Área de trabalho do SimaPro (Fonte: O Autor)	15
Figura 6 – Fase de Objectivo e Âmbito (Fonte: O Autor)	17
Figura 7 - Análise de inventário de ciclo de vida (Fonte: O Autor)	18
Figura 8 - Categorias de impacto (Fonte: O Autor)	19
Figura 9 - Etapas na Avaliação de Impactos [7]	20
Figura 10 - Etapas na Avaliação de Impactos [7]	21
Figura 11 - Localização do método ReCipe 2016 Midpoint (H) (O Autor)	22
Figura 12 - Parede plana com transferência de calor unidimensional [32].	23
Figura 13 - Convecção natural em cavidade vertical [32].	24
Figura 14 - Propagação do som em um campo aberto [16]	30
Figura 15 - Divisão do ouvido [18]	32
Figura 16 - Poluição sonora [18]	33
Figura 17 - Normalização dos Impactos Ambientais (Fonte: O Autor)	39
Figura 18 - Impactos ambientais na categoria de aquecimento global (Fonte: O Autor)	40
Figura 19 - Impactos ambientais na categoria de formação do ozono (Fonte: O Autor)	41
Figura 20 - Impactos ambientais na categoria de Ecotoxicidade (Fonte: O Autor)	42
Figura 21 - Impactos ambientais na categoria de Toxicidade Cancerígena (Fonte: O Autor)	43
Figura 22 - Resistência térmica para blocos maciços (Fonte: O Autor)	44
Figura 23 - Resistência térmica para blocos ocos (Fonte: O Autor)	45
Figura 24 - Perda de transmissão sonora (Fonte: O Autor)	46
Tabela 1 - Custos do ciclo de vida do bloco de betão (Fonte: O Autor)	47
Figura 25 - Custo de Ciclo de Vida Comparativo (Fonte: O Autor)	48
Tabela 2 - Valores de β_i e factor de direcção (S_i) por Critério (Fonte: Autor)	49
Tabela 4 - . Inventário para produção do bloco cerâmico (Fonte: O Autor)	62
Tabela 5 - Inventário de Produção do Bloco de Betão (Fonte: O Autor)	63
Tabela 6 - Inventário de Produção do Clinquer (Fonte: O Autor)	64
Tabela 7 - Inventário de Produção do Cimento Portland (Fonte: O Autor)	66

Figura 26 - Projecções do Bloco de Betão (Fonte: O Autor).....	67
Figura 27 - Projecções do Bloco de Cerâmico (Fonte: O Autor)	68
Figura 28 - Árvore do Bloco de Cerâmica para a Categoria de Aquecimento Global (Fonte: O Autor).....	69
Figura 30 - Árvore do Bloco de Cerâmica para a Categoria de Formação do Ozono para o Ecossistema Terrestre(Fonte: O Autor)	71
Figura 32 - Árvore do Bloco de Cerâmica para a Categoria de Ecotoxicidade Terrestre (Fonte: O Autor).....	73
Figura 33 - Árvore do Bloco de Cerâmica para a Categoria de Ecotoxicidade em Água Doce (fonte: O Autor)	74
Figura 34 - Árvore do Bloco de Cerâmico para a Categoria de Ecotoxicidade Marinha (Fonte O Autor).....	75
Figura 35 - Árvore do Bloco de Cerâmico para a Categoria de Toxicidade Terrestre Humana (Fonte: O Autor)	76
Figura 36 - Árvore do Bloco de Betão para a Categoria de Aquecimento Global (Fonte: O Autor)	77
Figura 37 - . Árvore do Bloco de Betão para a Categoria de Formação do Ozono para a Saúde Humana (Fonte: O Autor).....	78
Figura 38 - Árvore do Bloco de Betão para a Categoria de Formação do Ozono para o Ecossistema Terrestre (Fonte: O Autor)	79
Figura 39 - Árvore do Bloco de Betão para a Categoria de Acidificação Terrestre (Fonte: O Autor)	80
Figura 40 - Árvore do Bloco de Betão para a Categoria de Ecotoxicidade Terrestre (Fonte: O Autor).....	81
Figura 41 - Árvore do Bloco de Cerâmica para a Categoria de Ecotoxicidade em Água Doce (Fonte: O Autor)	82
Figura 42 - Árvore do Bloco de Betão para a Categoria de Ecotoxicidade Marinha (Fonte: O Autor).....	83
Figura 43 - Árvore do Bloco de Betão para a Categoria de Toxicidade Terrestre Humana (Fonte: O Autor).....	84
Figura 44 - Circuito de Resistências Térmicas do Bloco de Betão (Fonte: O Autor)	85
F	85
Figura 45 - . Circuito de Resistências Térmicas do Bloco de Cerâmica (Fonte: O Autor)	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custos do ciclo de vida do bloco de betão (Fonte: O Autor).....	47
Tabela 2 - Valores de β_i e factor de direcção (S_i) por Critério (Fonte: Autor)	49
Tabela 3 - Vantagem Normalizada θ_i por Análise (Fonte: O Autor)	50
Tabela 4 - . Inventário para produção do bloco cerâmico (Fonte: O Autor)	62
Tabela 5 - Inventário de Produção do Bloco de Betão (Fonte: O Autor)	63
Tabela 6 - Inventário de Produção do Clinquer (Fonte: O Autor).....	64
Tabela 7 - Inventário de Produção do Cimento Portland (Fonte: O Autor).....	66

LISTA DE ABREVIATURAS

- ACV - Análise do Ciclo de Vida
- AICV - Análise dos Impactos do Ciclo de Vida
- CCV - Custo do Ciclo de Vida
- ESG - *Environmental, Social and Government*
- ICV - Inventário do Ciclo de Vida
- ISO - International Organization for Standardization
- MA - Melhor Alternativa
- UF - Unidade Funcional

LISTA DE SÍMBOLOS

• m_{bb}	- Massa do bloco de betão [kg]
• m_{bc}	- Massa do bloco de cerâmico [kg]
• V_{bb}	- Volume do bloco de betão [m^3]
• V_{bc}	- Volume do bloco de cerâmica [m^3]
• $m_{UF,bb}$	- Massa da unidade do bloco de betão por unidade funcional [kg]
• $m_{UF,bc}$	- Massa da unidade do bloco de betão por unidade funcional [kg]
• Q	- Taxa de transferência de calor [W]
• k	- Condutividade térmica [$W/m \cdot K$]
• A	- Superfície [m^2]
• $T(x)$	- Perfil de temperaturas na direcção x [K]
• C	- Comprimento [m]
• L	- Largura [m]
• H	- Altura [m]
• h	- Coeficiente de convecção [$W/m^2 \cdot K$]
• R	- Resistência térmica [K/W]
• $\delta_{bb}, \delta_{bc}, \gamma_{bb}, \gamma_{bc}$	- Coeficientes de compactação
• f	- Frequência das ondas sonoras [Hz]
• T	- Período [s]
• ρ	- Massa específica [kg/m^3]
• ρ_A	- Massa específica superficial [kg/m^2]
• PT	- Perda de transmissão sonora [dB]
• CCV	- Custo do ciclo de vida [MZN]
• ccv_{UF}	- Custo do ciclo de vida da por unidade funcional [MZN]
• θ_i	- Vantagem do critério
• μ_i	- Peso da análise
• β_i	- Grau de superioridade
• S_i	- Indicador binário
• n	- Número de subcritérios

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

A construção civil constitui-se como um dos pilares essenciais do desenvolvimento urbano e económico em Moçambique, contribuindo directamente para a criação de emprego, expansão de infra-estruturas e intensificação do processo de urbanização. O sector apresenta uma taxa de crescimento anual situada entre os 3% e os 7% [22], impulsionada sobretudo pelo aumento da procura habitacional e pela progressiva expansão das zonas urbanas.

Todavia, esse dinamismo económico acarreta custos ambientais significativos, nomeadamente o acréscimo no consumo de recursos naturais, o intensificar do uso de energia e a elevação das emissões de gases com efeito de estufa (GEE). A nível global, estima-se que o sector da construção seja responsável por aproximadamente 36% do consumo final de energia e por cerca de 39% das emissões de dióxido de carbono (CO_2) relacionadas com a energia [21], sendo, por conseguinte, um dos principais intervenientes na actual crise climática.

Diante da emergência ambiental e da transição ecológica, é essencial reavaliar os materiais de construção com foco em eficiência, desempenho e sustentabilidade. Essa abordagem está alinhada com os Objectivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, especialmente os ODS 3, 11, 12 e 13. A crescente adopção dos princípios ESG reforça a necessidade de usar critérios baseados em indicadores ambientais ao longo do ciclo de vida dos materiais. Este estudo surge da falta de dados locais comparativos sobre o desempenho térmico, acústico, ambiental e económico dos blocos de betão e cerâmicos, amplamente usados em Moçambique. Sob a óptica da engenharia mecânica, o trabalho aplica conceitos de transferência de calor, análise energética e Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), fundamentais para soluções construtivas mais eficientes. O objectivo é fornecer dados técnicos rigorosos para orientar decisões informadas e promover construções urbanas mais sustentáveis e resilientes no país.

1.1. OBJECTIVOS

1.1.1. Objectivo Geral

Analisar comparativamente o ciclo de vida dos blocos de betão e de cerâmica, utilizados na construção civil em Moçambique.

1.1.2. Objectivos Específicos

- Avaliar comparativamente o impacto ambiental associado à produção de cada tipo de bloco;
- Comparar o desempenho térmico dos blocos, através da análise de resistências térmicas;
- Comparar o desempenho acústico dos blocos, a fim de determinar qual dos dois blocos oferece melhor isolamento contra ruídos;
- Avaliar o custo de ciclo de vida dos blocos;
- Desenvolver um modelo matemático, para escolha da melhor proposta.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo será apresentada uma revisão da literatura existente referente ao estudo dos processos de avaliação de impactos ambientais.

2.1 SUSTENTABILIDADE

A evolução e a integração da economia mundial são responsáveis pela alteração dos perfis políticos e sociais de actualmente. Sendo o desenvolvimento realizado através da maior utilização de recursos naturais, os efeitos da expansão económica e da actividade Humana fazem-se sentir cada vez mais no meio ambiente. À medida que o tempo avança, fica mais notória a potencial colisão entre os aspectos sociais e ambientais, criados pelo crescimento desmedido e pelas desigualdades sociais, entretanto criadas. Contudo, o confronto com esta realidade gera a oportunidade da passagem para uma sociedade mais justa e sustentável [2].

Sustentabilidade é a capacidade de criar e a manter as condições sob as quais a raça humana e a natureza conseguem subsistir em harmonia, no presente, cumprindo os requisitos sociais, económicos e ambientais, sem comprometer a mesma capacidade de subsistência das gerações futuras [6]. A sustentabilidade obtém-se então através do equilíbrio entre esses três requisitos, ou dimensões, tal como se demonstra na Figura 1.



Figura 1 - Dimensões da Sustentabilidade [5]

O equilíbrio entre cada par de requisitos tem a sua própria designação, sendo o equilíbrio dos aspectos social, ambiental e económico designados por equidade, habitabilidade e eco-eficiência. A sustentabilidade socioeconómica baseia-se na redução da desigualdade extrema em aspectos

morais e práticos. Em termos morais, a busca desta sustentabilidade, deste equilíbrio, exige que se alcancem objectivos mais intangíveis como a igualdade de direitos e deveres, qualquer que seja o indivíduo [2]. Em termos práticos, os objectivos sociais variam consoante a região e a sociedade em questão. Aqueles que geram maior consenso internacional são os que estão relacionados com a provisão das necessidades básicas de vida como a alimentação adequada, o acesso a água potável, à educação e a um sistema de saúde. Em termos ambientais, sustentabilidade significa a manutenção de ecossistemas, de ciclos biogeoquímicos e recursos naturais, assegurando também o desenvolvimento humano [2]. Para assegurar esta sustentabilidade, é fundamental preservar-se o capital natural existente, ou seja, os recursos e serviços necessários à subsistência dos ecossistemas tanto no presente como no futuro. O capital natural é composto por dois conjuntos de capacidades, a capacidade de exploração e a capacidade de sumidouro. A capacidade de exploração dos ecossistemas é a sua apetência para fornecer recursos naturais essenciais à vida como água, energia, ar, alimento, etc. A capacidade de sumidouro está relacionada com a assimilação dos *outputs* da actividade natural ou dos resíduos criados [3], [4]. O mundo necessita que seja feita a transição para um desenvolvimento sustentável, que permita o equilíbrio entre as dimensões acima mencionadas, atendendo à sua interdependência. Essa transição requer que não só as entidades responsáveis, empresas, governos e outras organizações, mas também os indivíduos ajam, mudando hábitos de consumo e produção, estabelecendo e alterando políticas para regular práticas que impeçam uma sustentabilidade global [3]

A literatura revista evidencia avanços significativos no estudo das propriedades dos materiais de construção, especialmente no que se refere à avaliação ambiental, térmica, acústica e económica. No entanto, os estudos analisados tendem a abordar cada uma dessas dimensões de forma isolada.

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) tem sido amplamente aplicada para comparar materiais de construção civil, tais como o betão e a cerâmica, com resultados que apontam maior intensidade de emissões associadas ao betão, sobretudo devido à produção de cimento [23],[24]. Ainda assim, os impactos variam de acordo com o contexto produtivo e energético, o que reforça a necessidade de estudos localizados.

Quanto ao desempenho térmico, vários autores demonstram que os blocos cerâmicos, devido à sua estrutura porosa, tendem a oferecer melhor isolamento térmico em climas quentes [25], [26]. Por outro lado, blocos de betão contribuem para o aumento da inércia térmica dos edifícios, sendo úteis em situações com grande variação de temperatura diária.

No campo acústico, os estudos mostram que o desempenho depende principalmente da massa específica e da espessura dos blocos. Blocos de betão proporcionam maior isolamento a sons aéreos, enquanto blocos cerâmicos podem exigir complementos construtivos para atender aos requisitos de conforto acústico [27].

Apesar dessas contribuições valiosas, são raros os estudos que integram essas quatro dimensões em uma única análise comparativa aplicada a um contexto tropical e em desenvolvimento como o moçambicano. A maior parte das pesquisas concentra-se em regiões de clima temperado e com disponibilidade de dados estruturados, o que limita a aplicabilidade directa dos seus resultados à realidade Moçambicana.

2.2 PROSTA DO TRABALHO

Nesse sentido, o presente trabalho propõe-se a preencher essa lacuna, ao realizar uma análise conjunta e comparativa do desempenho ambiental, térmico, acústico e económico de blocos de betão e de cerâmica, com base em simulações computacionais e dados locais e criar um modelo único para escolha da melhor solução para construção em Moçambique. Deste modo, no próximo capítulo, descrevem-se os materiais e métodos utilizados para analisar comparativamente os blocos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão abordados a organização estrutural do trabalho, os recursos utilizados, os parâmetros de simulação e de cálculo.

3.1 MATERIAIS CONSTITUINTES

Entre os mais variados recursos e materiais empregados na construção civil, faz-se necessário o uso de blocos para comportar e suportar os esforços das estruturas a serem construídas, desta forma tem-se no mercado a possibilidade do uso de blocos de betão ou de cerâmica de volumes iguais, com dimensões equivalentes a $390mm \times 140mm \times 190mm$.

$$V_{bb} = V_{bc} \quad (1)$$

$$m_{bb} \neq m_{bc} \quad (2)$$

3.1.1 Bloco de Betão

O bloco a ser utilizado apresenta dois furos, que segundo a ABNT NBR3136 (2016), aplica-se a alvenarias externas sem revestimento devendo o bloco possuir resistência característica à compressão maior ou igual à 2 MPa, além de sua capacidade de vedação. Em estudo eles tem uma resistência de aproximadamente 2,5 MPa.

O bloco apresenta dimensões de gabarito de $390mm \times 140mm \times 190mm$, conforme está ilustrado no Apêndice [E](#), cuja massa é de 11,7 kg.

O uso dos blocos de betão na alvenaria se deu em consequência ao surgimento do cimento Portland, época que ocorreu a produção de grandes e maciças unidades de betão. Desde então esforços aconteceram para a modernização da fabricação dos blocos e também da sua utilização na alvenaria [9]. Ainda de acordo com o autor, os blocos mais produzidos podem compor dois tipos de sistemas construtivos: alvenaria estrutural e de vedação. A classe de blocos faz a diferenciação dos blocos de acordo com seu uso, que pode ser estrutural ou não estrutural, em elementos de alvenaria, acima ou abaixo do nível do solo.

Os materiais utilizados na fabricação de blocos de betão são basicamente: cimento Portland, areia, brita e água. Dependendo de requisitos específicos, a dosagem do betão poderá também empregar outros componentes, tais como adições minerais, pigmentos, aditivos etc. Os

materiais constituintes do bloco de betão devem ser especificados e utilizados de acordo com suas propriedades, para que o produto final esteja em conformidade com as metas projectadas [9].

A Figura 1 apresenta o fluxograma geral da fabricação de blocos de betão. As máquinas utilizadas e o nível de automação da fábrica variam de acordo com o porte da empresa, mas as etapas básicas ilustradas são apresentadas por todas. As principais matérias-primas utilizadas são água, cimento e agregados, variando tipo e granulometria, que depende da formulação do betão e disponibilidade na região onde se encontra a fábrica.

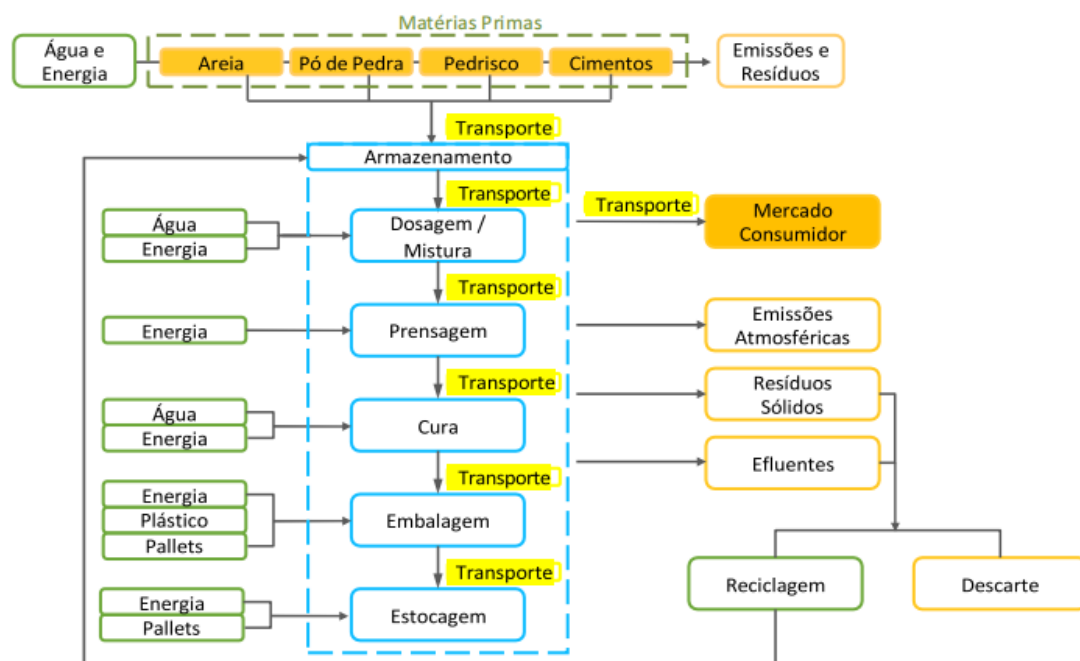


Figura 2 - Fluxograma do processo de produção de blocos de betão [9]

O processo de produção é totalmente automatizado, contendo as seguintes etapas, conforme como pode ser visto na descrição do processo a seguir:

Recebimento dos materiais

No momento da descarga dos agregados, deve-se proceder à correcta amostragem e determinar sua curva granulométrica e outras propriedades do material, tais como massa específica, massa unitária no estado solto, massa unitária no estado compactado, etc. Uma amostra padrão deve ser mantida para que se possa compará-la aos materiais que serão recebidos posteriormente. Estas análises dos materiais devem ser feitas a cada lote recebido ou a cada mudança do fornecedor. O cimento deve ser guardado em local seguro e sem humidade, como em silos. Os demais materiais

aditivos, adições, pigmentos, etc. devem seguir as especificações dos fabricantes para sua armazenagem.

Pesagem e mistura dos materiais

É de extrema importância a quantificação da matéria-prima, visando à manutenção da qualidade e de propriedades físicas necessárias para a produção dos blocos de betão. A mensuração dos materiais por volume deve ser evitada, devido às variações que podem ocorrer neste tipo de procedimento. Os principais casos de variabilidade são os equívocos durante a determinação da quantidade correcta de água de amassamento, causados por não se considerar a humidade dos agregados; erros causados pelo inchamento da areia, o que gera variações no volume quando a medida de proporcionalidade é tomada por este factor; e erros devidos a variações na quantidade de cimento, especialmente nos casos em que se considera a proporcionalidade em relação ao saco de cimento.

Deve-se sempre definir o traço de acordo com as especificidades projectadas para cada tipo de bloco fabricado, e o mesmo deve ser ajustado de acordo com a humidade dos agregados. Os sistemas de medição e determinação da massa dos materiais podem variar, dependendo da fábrica. Percebe-se, portanto, que a correcta determinação das proporções de areia, brita, cimento e água é um procedimento fundamental, que interfere e determina a qualidade do produto final.

Vibro prensagem

O equipamento denominado vibro prensa é a peça central de uma fábrica de blocos. As máquinas moldam os blocos de alvenaria (por meio de moldes e pentes). O concreto fresco é colocado em moldes, nos quais sofre uma determinada vibração e é prensado pelos extractores, verticalmente. O molde é então suspenso; os pentes permanecem imóveis, mantendo os blocos sobre o palete. Logo após os extractores são elevados e o palete com as peças recém moldadas é retirado. Outro palete é colocado no local, e o processo se reinicia. A quantidade de blocos fabricados por ciclo depende das dimensões dos equipamentos.

O mecanismo de vibração das vibro prensas tem influência directa sobre as propriedades das peças moldadas, tendo como principais parâmetros de interferência a direcção, amplitude, velocidade, aceleração e tempo de adensamento. Na prática, este tempo é determinado em função das propriedades do bloco após a desmoldagem. Ele é o mínimo necessário para que se obtenha total preenchimento e adensamento do betão nos moldes da prensa, aparência adequada após a

desmoldagem, resistência ao manuseio logo após a desmoldagem, e produtividade das operações dentro dos critérios estabelecidos.

Uma vez aprovados segundo os critérios mencionados, os blocos são transportados por uma esteira rolante até o finger, equipamento composto por plataformas elevatórias para transporte dos paletes até a câmara de cura, e, após a cura, para a esteira de paletização.

Cura

A cura em ambiente saturado é fundamental para que se obtenha boas propriedades dos blocos de betão, evitando-se, deste modo, a perda de água durante as primeiras fases do endurecimento. A cura húmida deve ser feita em local livre de sol directo e de ventos, para evitar que os blocos sequem, se molhem e voltem a secar. O local ideal deve, ainda, possuir um rígido controle de temperatura e humidade.

O aumento de temperatura com a inserção de vapor em câmara térmica e à pressão atmosférica é o procedimento mais comum de cura térmica. As temperaturas e duração do ciclo térmico podem variar, dependendo do ciclo de produção de cada fábrica.

Transporte e Estocagem

Após os dois processos descritos anteriormente a saber, moldagem e cura, os blocos permanecem sobre paletes. Nesta etapa, eles são transferidos manualmente ou automaticamente para um palete maior, de madeira, em um processo denominado cubagem. Os equipamentos utilizados especificamente para esta etapa utilizam apenas um operador, ao passo que, nos processos manuais, são necessárias duas ou mais pessoas.

De forma resumida, os agregados costumam ser armazenados em baias (com ou sem cobertura) e o cimento em silos próprios. Os insumos são transportados até misturadores, geralmente através de correias, onde é realizada a dosagem do betão.

Durante a mistura é realizado o acréscimo da água necessária para se alcançar a humidade óptima, de modo a atingir a trabalhabilidade adequada para a moldagem. Alguns produtos utilizam pigmentos em sua composição, assim como algum tipo de aditivo para melhorar a consistência do betão ou facilitar a desmoldagem.

A massa pronta é encaminhada até a vibro prensa, sendo sua tecnologia importante para a qualidade do produto. A resistência adquirida pelo betão será proporcional ao grau de compactação que a vibro prensa pode conferir à peça e à distribuição granulométrica dos

agregados, sendo menor a porosidade da peça quanto melhor for o grau de empacotamento dos grãos.

3.1.2 Bloco Cerâmico

Apresentando furos prismáticos, retangulares, cilíndricos ou outros, perpendiculares às faces que às contém (ABNT NBR15270-1, 2005). Os blocos em estudo são usados na construção das paredes de vedação e no assentamento, contém 9 furos e são geralmente dispostos verticalmente. Tal como o bloco de betão, o bloco cerâmico tem dimensões equivalentes a $390mm \times 140mm \times 190mm$ conforme ilustrado Apêndice [E](#), o mesmo apresenta uma massa equivalente a $6,30\text{ kg}$.

A produção da cerâmica vermelha se caracteriza como sendo um processo relativamente simples, no entanto, é constituído por uma série de etapas essenciais para o sucesso e qualidade final dos produtos. Nesse sentido, a Figura 3 mostra o fluxograma do processo produtivo, englobando os elementos de entrada e saída em algumas etapas.

Um dos materiais constituintes das unidades cerâmicas é a argila. A argila é composta de sílica, silicato de alumínio e variadas quantidades de óxidos ferrosos. A argila pode ser calcária, nesse caso, quando cozida, produz um bloco de cor amarelada. As argilas não calcárias contêm de 2 a 10 % de óxido de ferro e feldspato e produz uma unidade de variados tons vermelhos dependendo da quantidade de óxido de ferro [\[11\]](#).

Nesse sentido, a Figura 3 apresenta o fluxograma do processo produtivo, englobando os elementos de entrada e saída em algumas etapas.

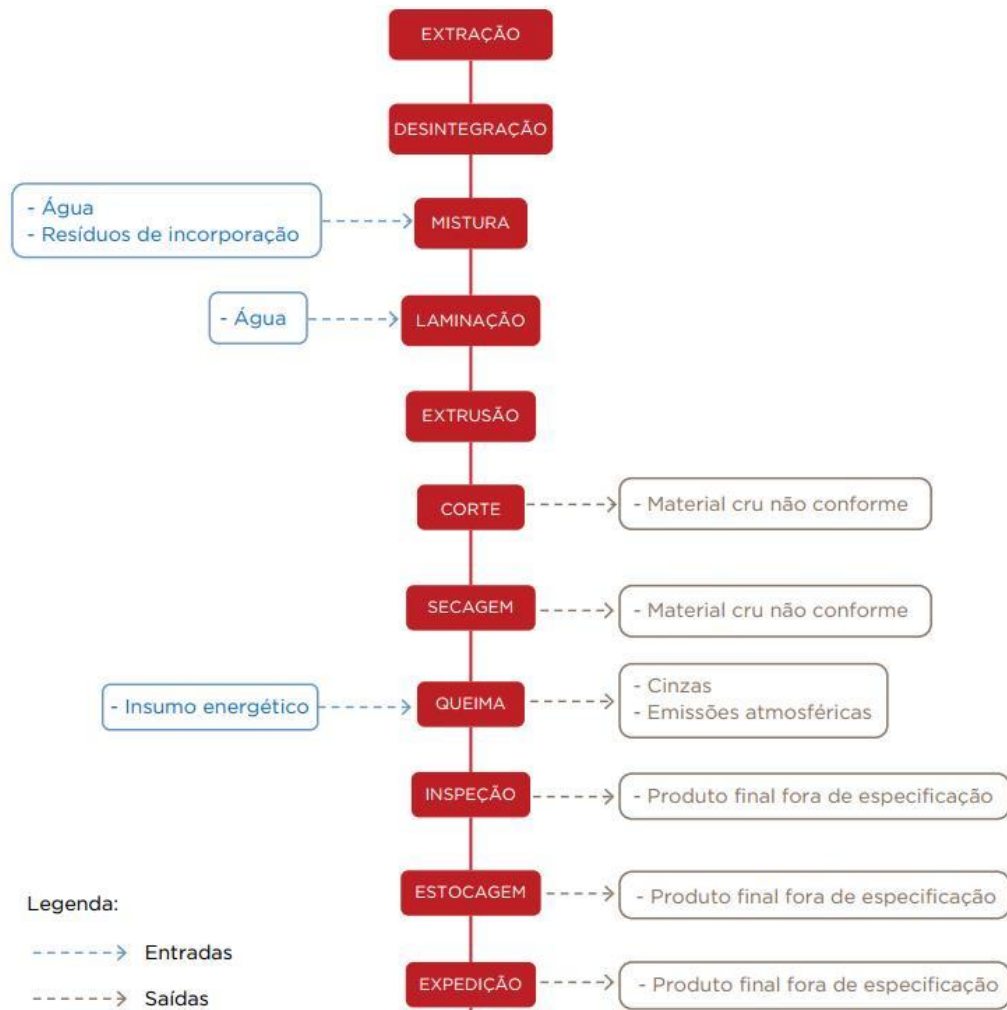


Figura 3 - Fluxograma do processo produção de blocos de cerâmica [29].

Extracção de argila

A argila é retirada do solo a céu aberto, de preferência em meses de menor precipitação podendo esta extracção ser realizada manualmente ou mecanizada, com auxílio de escavadeiras, pás carregadeiras, tractor de esteira com lâmina, entre outros equipamentos [19]

Sendo que a sua retirada ocorre de forma conjunta com a areia. Isso porque para realizar a extracção de areia é necessário retirar a camada superior do terreno constituída de argila [19].

Recebimento da matéria-prima

O responsável receptor de argila deve colectar pequenas amostras para ensaio de resíduo, sendo recomendada esta operação na primeira e na última carga, para verificar se houve alguma mudança

significativa na extracção [29]. A realização desses ensaios se justifica pelo facto de que é mais fácil identificar um problema em campo do que após a secagem ou queima. No recebimento a argila deve ser armazenada em pequenos lotes cobertos com uma lona plástica para acelerar o processo de decomposição da matéria orgânica e sais solúveis.

A matéria-prima deve ser armazenada em camadas para facilitar a mistura no momento de sua retirada das pilhas de estocagem. É importante que a argila passe por um período de descanso para melhorar os resultados na conformação do produto acabado [19].

Preparação da massa cerâmica

A preparação da massa consiste na mistura da argila com a água [29]. Mas, para produção de uma boa massa cerâmica é essencial à obtenção de um produto de alta qualidade, redução de perdas e consequentemente melhoria do desempenho ambiental do processo, para isso é necessário:

- Boa homogeneização da argila com a água, a adição de água na mistura deve ser centralizada e nunca nas laterais, de modo a facilitar a mistura, a utilização de água quente na mistura acelera o processo de absorção de água pelo centro do grão argiloso, podendo ser reutilizada da bomba de vácuo, ou outros processos viáveis disponíveis na empresa;
- Redução dos grãos;
- Descanso da massa cerâmica por um período de 24 a 48 horas.

Laminagem

O laminador é o equipamento responsável por esta etapa, que consiste no direccionamento de partículas das argilas, sendo fundamental sua regulagem periódica. É recomendado um distanciamento de 2 a 3 mm para o último laminador. Lembrando que quanto mais fechado estiver o laminador melhor será o direccionamento das partículas. A qualidade da laminação determina a qualidade do acabamento dos produtos, evita perdas e pode levar a uma redução no consumo de energia na queima, visto que a granulometria do material diminui [29].

Extrusão e Corte

Consiste em forçar, por pressão, a massa a passar através de um bocal apropriado ao tipo de peça a ser produzida. A extrusora, também conhecida como maromba, recebe a massa preparada para ser compactada e forçada por meio de um pistão ou eixo helicoidal através de bocal. Como resultado obtém-se uma coluna extrudada para confecção de blocos ou em tarugos para fabricação de telhas [29].

Já o corte, pode ser realizado com cortadores manuais ou automáticos, sendo usado para dar a dimensão desejada ao produto. As peças cortadas podem ser retiradas manualmente ou automaticamente. Depois de cortadas, por inspecção visual, as peças são seleccionadas e encaminhadas para o sector de secagem. Já as peças defeituosas são reintroduzidas na etapa de preparação de massa [19].

Secagem

Existem dois tipos de secagens adoptadas ao longo do processo produtivo da cerâmica vermelha:

- Natural – É o processo mais comum nas indústrias de tijolos, blocos e telhas cerâmicas, porém é demorado e exige grandes áreas protegidas do sol e com ventilação natural controlada [10];
- Artificial – É executada em câmaras de alvenaria comum. Nesse processo as peças são colocadas sobre prateleiras ou empilhadas, de modo a oferecer uma face sempre em contacto com o ar [10].

Queima

Aqui as peças adquirem suas propriedades finais. Esse tratamento térmico é responsável por uma série de transformações físico-químicas das peças como: perda de massa, desenvolvimento de novas fases cristalinas, formação de fase vítrea (é a transição reversível entre materiais moles para materiais duros) e a soldagem (também conhecida por sinterização, que é a operação de aquecimento da peça) dos grãos [1]

Os produtos são submetidos a temperaturas elevadas, em fornos contínuos ou intermitentes que operam em três fases: aquecimento da temperatura ambiente até a temperatura desejada, com cerca de 1200° C, patamar durante certo tempo na máxima temperatura da curva de queima e resfriamento até temperaturas inferiores a 200° C [19].

Inspecção

Análise das peças produzidas, descartando as peças fracturadas ou com trincas para à etapa de recebimento da matéria-prima.

Estocagem

As peças são estocadas em regiões da empresa para espera da expedição. Ressalta-se ainda que alguns cuidados básicos devem ser considerados ao longo dessa etapa, visto que os lotes novos não devem ser misturados com os lotes velhos, evitando com isso inúmeros problemas, principalmente com telhas de encaixe. Todo lote deve receber identificação [19].

Expedição

O produto queimado ao sair do forno deve ser transportado com cuidado, evitando batidas desnecessárias. O controlo de qualidade deve ser realizado em lotes pequenos de aproximadamente 100 peças, separadas aleatoriamente. Os testes a serem realizados compreendem: absorção de água; torção; desvio padrão em relação ao esquadro; bitolas (dimensões); permeabilidade (telhas); sonoridade (blocos e telhas) e empenamento (telhas) [29].

3.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

O procedimento de avaliação do ciclo de vida (ACV) identifica e quantifica a energia e os materiais utilizados, bem como os resíduos e as emissões libertados para o ambiente, e avalia o impacto das entradas e saídas, os quais podem ser definidos para um único processo ou para o ciclo de vida completo, desde a aquisição de matérias-primas até à disposição final do produto [1], como está ilustrado na Figura 4. Como será explicado de seguida, a metodologia ACV está definida e descrita em ISO14040 (2006) e ISO14044 (2006), consistindo em quatro fases: Objectivo e Âmbito, Análise de Inventário, Avaliação de Impactos, e Interpretação.

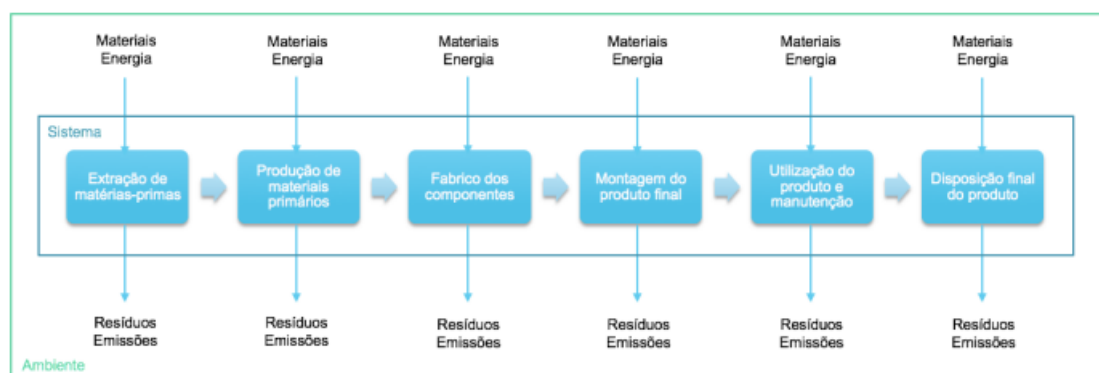


Figura 4 - Entradas e Saídas definidos no ciclo de vida de um produto [7]

3.2.1 Recurso Utilizado

Para a realização da ACV foi necessário o uso de recursos computacionais, desta forma, foi utilizado o *software* SimaPro 9.6.0.1, lançado em 1990 pela empresa PRéConsultants, tem usuários em mais de 80 países e é o software mais utilizado para ACV. Sendo esse, uma ferramenta para colectar dados e analisar o desempenho ambiental de produtos e serviços. No qual, o usuário pode modelar e analisar ciclos de vida complexos de uma forma sistemática e transparente, seguindo as recomendações da série ISO 14040.

O Simapro é uma ferramenta utilizada pelas grandes indústrias, consultorias e universidades que permite relacionar os dados a diferentes categorias de impacto. Além disso, ainda permite uma inter-relação com o Excel, ou seja, após gerar as suas planilhas e gráficos os mesmos ainda podem ser enviados para o Excel ou do Excel para o SimaPro. O ambiente inicial é apresentado na Figura 5 abaixo.

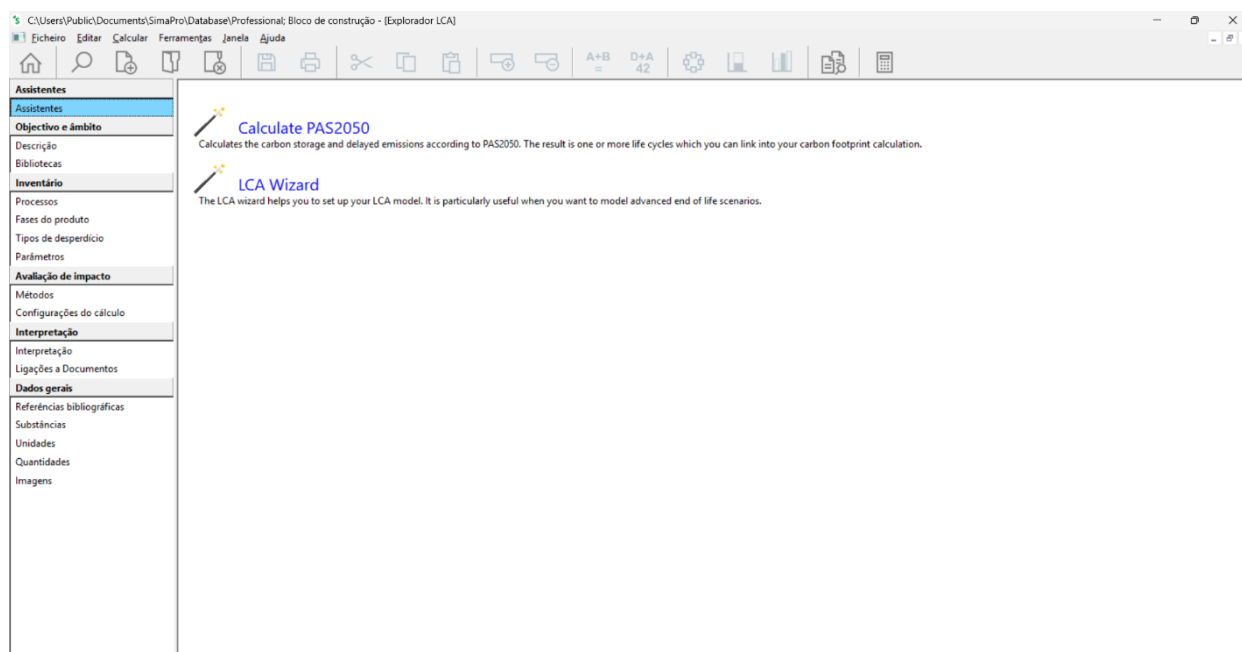


Figura 5 - Área de trabalho do SimaPro (Fonte: O Autor)

3.2.2 Normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006

Como já foi referido, uma das técnicas mais utilizadas para o controlo dos impactos ambientais é a metodologia ACV, a qual, segundo as normas internacionais ISO14040 (2006) e ISO14044 (2006), pode auxiliar no seguinte:

- Identificação de oportunidades para melhorar o desempenho ambiental dos produtos, ao longo do seu ciclo de vida;
- Fornecimento de informação útil para a tomada de decisões na indústria, governo ou organizações não governamentais (por exemplo, para a elaboração de propostas de planeamento estratégico, na definição de prioridades, ou na concepção de um produto) ;
- Selecção de indicadores relevantes de desempenho ambiental, incluindo técnicas de medição;
- Marketing.

Segundo as normas em análise, um estudo ACV envolve, então, quatro fases, as quais serão descritas de seguida:

- a) Definição do Objectivo e Âmbito;
- b) Análise de Inventário;
- c) Avaliação de Impactos;
- d) Interpretação.

3.2.3 Definição do Objectivo e Âmbito

Especifica os objectivos e o procedimento da investigação proposta. Esta fase inclui, a definição da fronteira do sistema (conjunto de critérios que especificam quais os processos unitários que fazem parte do sistema), da unidade funcional do sistema (desempenho quantificado de um sistema a ser utilizado como unidade de referência), e dos requisitos relativamente à qualidade dos dados, como se pode ver na Figura 6.

The screenshot shows the SimaPro software interface. The left sidebar has a tree view with the following items: Assistentes, Objectivo e âmbito (selected), Descrição, Bibliotecas, Inventário, Processos, Fases do produto, Tipos de desperdício, Parâmetros, Avaliação de impacto, Métodos, Configurações do cálculo, Interpretação, Ligações a Documentos, Dados gerais, Referências bibliográficas, Substâncias, Unidades, Quantidades, and Imagens. The main window displays the 'Objectivo e âmbito' form. The form fields are: Nome (Bloco de construção), Data (3/22/2025), Autor (Ladino Zunguze), Comentário (Aplicação de uma abordagem "do berço ao portão", a avaliação foca-se apenas nas fases de aquisição de materiais e fabricação), Tipo de ACV (External LCA comparison), Ver ACV interna (Ver ACV interna. Não é permitida a ponderação das categorias de impacto. É necessária uma análise de sensibilidade. É necessária uma revisão externa independente por especialistas (ISO 14040)), Objectivo (Comparar a eficiência térmica e o impacto ambiental do bloco de betão e cerâmico, identificando qual material apresenta melhor desempenho em termos de sustentabilidade e eficiência energética), Motivo (empty), Promotor (empty), Parte interessada (Universidade Eduardo Mondlane, Ministério da Terra e Ambiente, Organização das Nações Unidas, Banco Mundial, Empresas de construção civil, Engenheiros de Materiais, Fabricas de blocos de construção, População, Legisladores de políticas ambientais, Pesquisadores e Estudantes), Profissional (empty), and Unidade funcional (A unidade funcional ou referência da análise de comparação é de 1 kg para ambos blocos, considerando as matérias-primas utilizadas na produção e os demais processos envolvidos na fabricação dos blocos.). At the bottom right, there are buttons for 'Guardar alterações' and 'Anular alterações'.

Figura 6 – Fase de Objectivo e Âmbito (Fonte: O Autor)

A definição da unidade funcional e da fronteira do sistema são passos fundamentais para qualquer análise comparativa entre duas alternativas. Assim sendo para este estudo foi utilizado 1 kg de bloco como unidade funcional representativa dos processos que permaneça constante para ambas as alternativas

$$m_{UF} = \frac{m_{bloco}}{UF} \quad (3)$$

$$m_{UF,bb} = m_{UF,bc} \quad (4)$$

Fronteira do Sistema

A fronteira do sistema delimita o processo em análise, indicando as entradas e saídas que devem ser consideradas [8]. Dependendo do tipo de análise pretendida, a fronteira pode ser classificada em berço ao túmulo (se considera o ciclo de vida completo), portão ao portão (se considera apenas um processo, fronteira utilizada neste estudo), berço ao portão (se apenas considera as fases de aquisição de matérias-primas e de produção), e portão ao túmulo (se considera as fases de utilização e de fim de vida) [7].

3.2.4 Análise de Inventário

A Análise de Inventário (ICV) inclui a realização do inventário de todos os materiais necessários para os dados de entrada e de saída Apêndices [A](#), [B](#), [C](#) e [D](#), bem como os fluxos de energia, de acordo com os objectivos definidos na fase anterior, como está ilustrado na Figura 7. Nesta fase, devem ser definidos quais os processos que devem ou não ser incluídos na análise (dependendo da fronteira do sistema), sendo que esta operação é geralmente designada por *cut-off*. Deve ser, ainda, considerada a alocação de fluxos elementares, se o processo tiver mais do que um produto (ou saída económica), uma vez que os seus pesos devem ser definidos. Os fluxos elementares consistem nos materiais e energia que não sofrem transformação humana, enquanto os fluxos intermediários requerem essa transformação dentro do sistema.

Produtos						
Saídas conhecidas para a esfera tecnológica. Produtos e co-produtos	Quantidade	Unidade	Grandeza	Alocação %	Tipo de residuo	Comentário
Bloco de Betão	1.0	kg	Mass	100 %	Cement	Constru...Transformation Properties Carbon content, fossil: 0 kg C/kg dry mass Carbon content, non-fossil: 0 kg C/kg dry mass Dry mass: 1 kg Wet mass: 1 kg
(Insira linha aqui)						
Saídas conhecidas para a esfera tecnológica. Produtos evitados	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 eller 2^SD	Min	Máx
(Insira linha aqui)						
Entradas						
Entradas conhecidas da natureza (recursos)	Sub-compartimento	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 eller 2^SD	Min
(Insira linha aqui)						
Entradas conhecidas da esfera tecnológica (materiais/combustíveis)	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 eller 2^SD	Min	Máx
Cimento portland para o Mercado, Moçambique	0.1667	kg	Sessão normal	1.512		
(2,4,2,5,1,na) The amount of this exchange is calculated as a weighted average of the BR and EC datasets, according to their production volumes. For more details, please consult the regional datasets with same activity name.						
Gravel, crushed (RoW) market for gravel, crushed Cut-off, 5	0.5	kg	Sessão normal	2.193		
(3,4,2,5,1,na) The amount of this exchange is calculated as a weighted average of the BR and EC datasets, according to their production volumes. For more details, please consult the regional datasets with same activity name.						
Sand (RoW) market for sand Cut-off, 5	0.3333	kg	Sessão normal	3.338		
(3,4,2,5,1,na) The amount of this exchange is calculated as a weighted average of the BR and EC datasets, according to their production volumes. For more details, please consult the regional datasets with same activity name.						
Tap water (RoW) market for tap water Cut-off, 5	0.0111840022656	kg	Sessão normal	8.412		
(2,2,2,5,1,na) The amount of this exchange is calculated as a weighted average of the BR and EC datasets, according to their production volumes. For more details, please consult the regional datasets with same activity name.						
(Insira linha aqui)						

Figura 7 - Análise de inventário de ciclo de vida (Fonte: O Autor)

3.2.5 Avaliação de Impactos

A Avaliação de Impactos (AICV) refere-se ao cálculo dos potenciais impactos ambientais, com efeitos na disponibilidade dos recursos, e impactos na saúde humana e na natureza. Estes impactos são calculados com base nos resultados do inventário, sendo que estes devem ser correspondidos a determinadas categorias de impacto, descritas nas árvores dos impactos ambientais dos blocos de betão e cerâmica Apêndices [G](#), [H](#), [I](#), [J](#), [K](#), [L](#), [M](#), [N](#), [O](#), [P](#), [Q](#), [R](#), [S](#), [T](#), [U](#) e [V](#), pelo que esta operação é denominada por classificação. De seguida, os resultados do inventário devem ser convertidos para uma unidade específica (indicador de categoria) através de factores de caracterização, os quais dependem do método AICV utilizado, sendo esta operação denominada por caracterização. A Figura 8 indica estas operações, mostrando a correspondência entre os resultados do ICV e as categorias de impacto existentes.

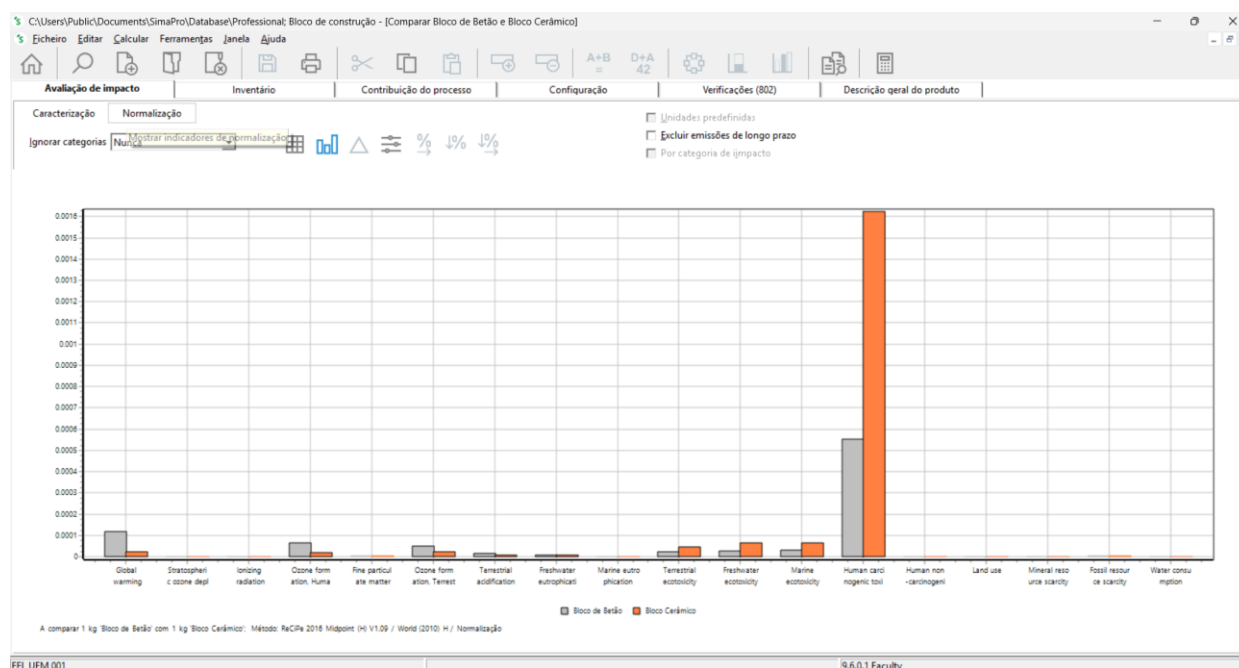


Figura 8 - Categorias de impacto (Fonte: O Autor)

As operações de normalização, consistem na obtenção de resultados relativamente a um valor de referência (factor de normalização), como por exemplo, um resultado anual de uma área geográfica definida, ou a contribuição anual média de uma pessoa) e de ponderação, obtenção da pontuação final única, de acordo com juízos de valor dados sobre a importância relativa das categorias de impacto consideradas [7]. Esta fase do estudo ACV, está esquematizada na Figura 9.

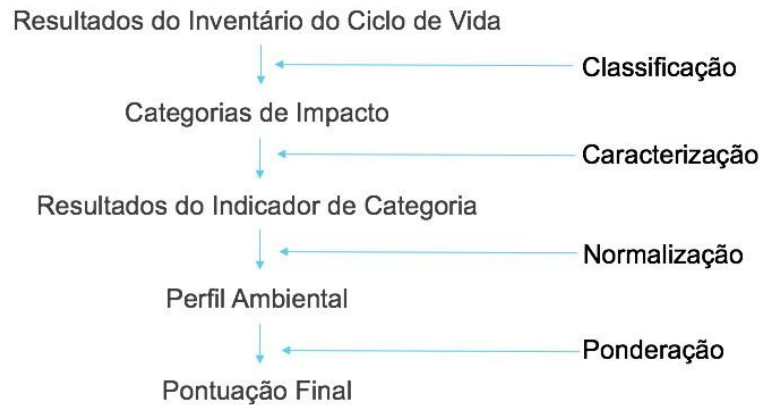


Figura 9 - Etapas na Avaliação de Impactos [7]

3.2.6 Interpretação

Na Interpretação, os resultados de ICV e/ou AICV são verificados e avaliados, para se averiguar a sua consistência com o objectivo e âmbito definidos para o estudo. Em alguns casos, o objectivo de um estudo ACV pode considerar apenas a realização da análise de inventário e interpretação (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006).

3.2.7 Método de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

Método ReCiPe

Este método sucede os métodos Eco-indicator 99 e CML-IA. Foi desenvolvido com o propósito de integrar a abordagem de análise das causas do método CML-IA e a abordagem de análise de danos do método Eco-indicator 99. A primeira abordagem define as categorias de impacto ao nível *midpoint* Figura 7, enquanto a segunda abordagem resulta apenas em três categorias de impacto *endpoint* (*human health*, *ecosystems* e *resources*), facilitando a interpretação dos resultados. A Figura 10 ilustra esta metodologia, na qual está identificada também a obtenção da pontuação final única.

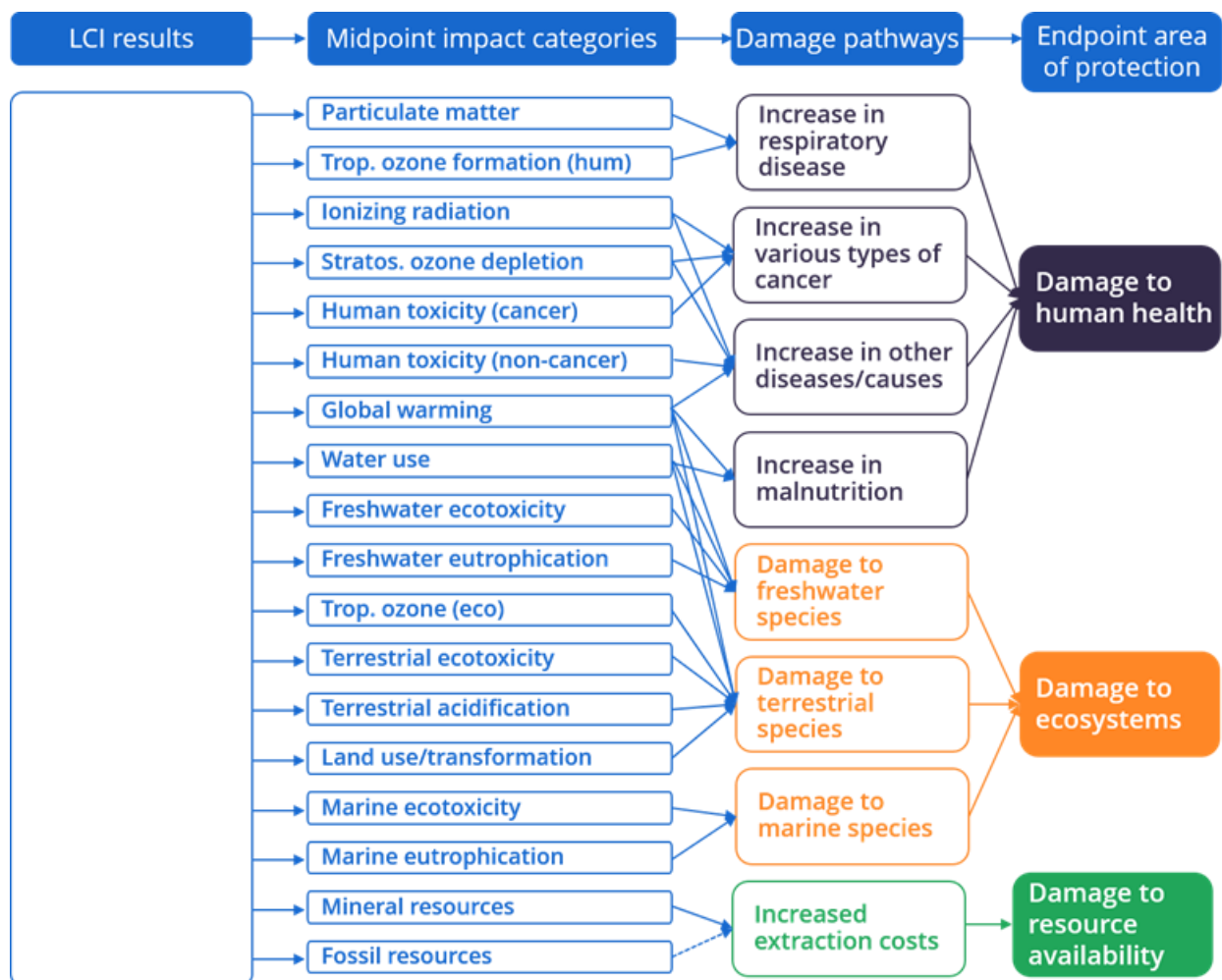


Figura 10 - Etapas na Avaliação de Impactos [7]

Desta forma, a fase de ponderação é dificultada pelo número elevado de categorias de impacto, tendo-se concluído que os juízos de valor deveriam ser dados a apenas três categorias de danos:

- Danos à Saúde (*Damage to Human Health*)
- Danos a Qualidade do Ecosistema (*Damage to Ecosystem Quality*)
- Danos aos Recursos (*Damage to Resources*)

Na relação entre categorias de impacto e categorias de danos, encontra-se sempre associado um dado nível de incerteza. Assim, neste método, foram desenvolvidas três perspectivas ou cenários, as quais agrupam fontes de incerteza e escolhas semelhantes:

- *Individualist* (I) – baseia-se no interesse de curto prazo (100 anos ou menos), nos tipos de impacto que são incontestáveis (isto é, as substâncias são incluídas se os seus impactos estão comprovados), e no optimismo tecnológico referente à adaptação humana;
- *Hierarchist* (H) – baseia-se nos princípios mais comuns: com interesse no longo-prazo e as substâncias são incluídas se existe consenso relativamente aos seus impactos, cenário utilizado na modelagem, conforme apresentado na Figura 11.
- *Egalitarian* (E) – considera um prazo mais longo e os tipos de impacto que ainda não estão totalmente estabelecidos, existindo apenas uma indicação sobre os efeitos das substâncias incluídas.

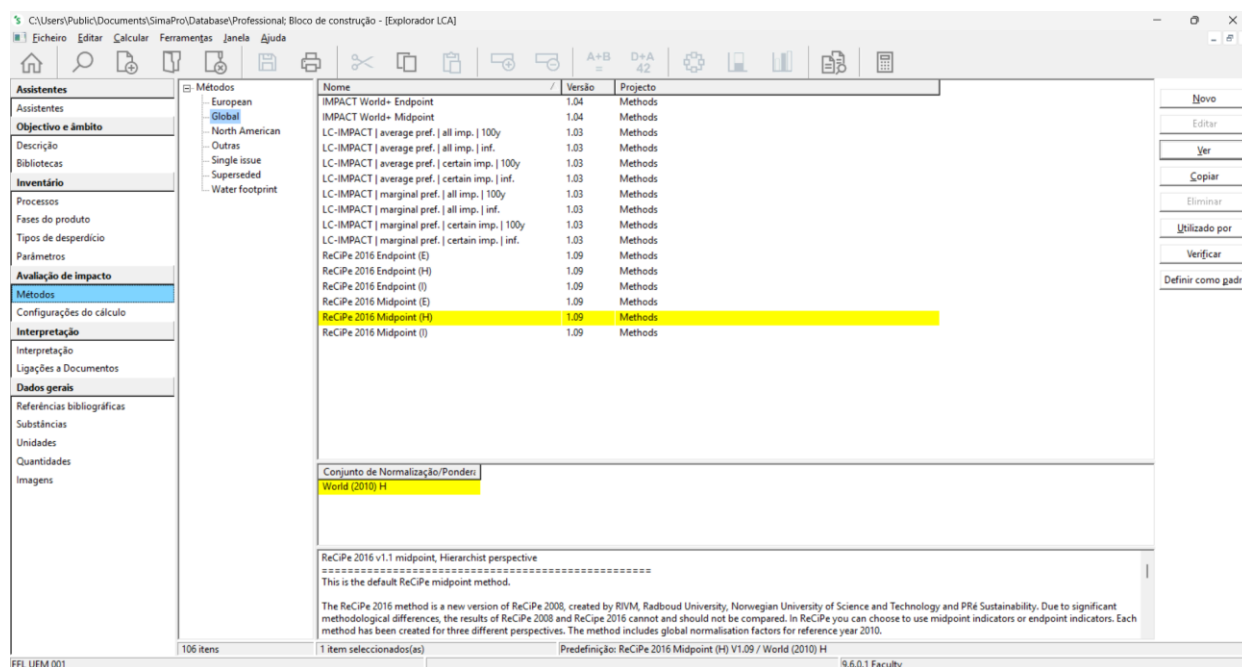


Figura 11 - Localização do método ReCiPe 2016 Midpoint (H) (O Autor)

3.3 RESISTÊNCIAS TÉRMICAS

3.3.1 Lei de Fourier

Em 1822, Jean Baptiste Joseph Fourier realizou observações em relação à transferência de calor por condução em situações práticas. Uma dessas situações é mostrada de forma simplificada na Figura 12, que ilustra a transferência de calor unidimensional em uma parede plana, onde $T(x)$ corresponde ao perfil de temperaturas na direção x , q_x'' a taxa de transferência calor por unidade de área e L a espessura da parede.

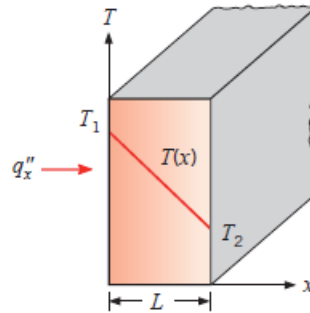


Figura 12 - Parede plana com transferência de calor unidimensional [32]

A Lei de Fourier pode ser expressa pela Equação 5 onde k é a condutividade térmica do material da parede.

$$Q = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{L} \text{ [W]} \quad (5)$$

3.3.2 Lei de Resfriamento de Newton

Fenômeno de convecção térmica ocorre entre uma superfície sólida e um fluido adjacente em movimento. A convecção é composta de dois mecanismos: a difusão, que é provocada pelo movimento aleatório das moléculas, e a advecção, que é causada pelo movimento macroscópico do fluido [11]. A transferência de calor por convecção pode ser quantificada pela Lei de Resfriamento de Newton, mostrada na Equação 6, onde Q é a taxa de transferência de calor; A a área em contacto com o fluido; h o coeficiente de transferência de calor por convecção; T a temperatura da superfície; e T_∞ , a temperatura do fluido adjacente.

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T [W] \quad (6)$$

A convecção natural ocorre quando um corpo entra em contacto com um fluido com temperatura diferente da sua [31]. A transferência de calor entre o corpo e o fluido promove variações na massa específica do fluido adjacente. Deste modo, a porção de fluido com temperatura maior tende a subir e a de temperatura menor tende a descer. Diversas configurações entre corpo e fluido já foram estudadas. Uma dessas configurações consiste em um corpo com uma cavidade rectangular preenchida por fluido, com as paredes verticais em temperaturas diferentes. O fluido em contacto com a parede mais quente tende a subir e o fluido em contacto com a parede fria tende a descer, provocando uma circulação no interior da cavidade, conforme representado na figura 13.

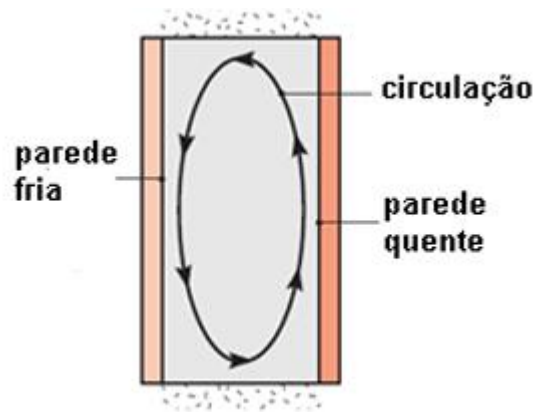


Figura 13 - Convecção natural em cavidade vertical [32].

3.3.3 Resistência Térmica em Paredes Planas

A resistência térmica pode ser tida como a resistência que um meio oferece à passagem de um fluxo térmico, da mesma forma que a resistência eléctrica é a dificuldade que é imposta por um elemento à passagem de corrente eléctrica. Considerando a condução unidimensional em uma parede plana, a resistência térmica pode ser calculada pela Equação 7 onde L é a espessura da parede, k é a condutividade térmica e A é a área transversal ao fluxo de calor [33]. Para os materiais estudados, foram assumidos valores padrão para a condutividade térmica, sendo $1,4 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{k})$ (ISO 10456:2009) para o betão sendo $0,7 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{k})$ (ISO 10456) para o bloco cerâmico, o coeficiente de transferência de calor por convecção do ar, em contacto com a superfície da parede, foi considerado como sendo $2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})$ (ISO 6946:2017) para cavidades.

$$R = \frac{L}{k \cdot A} \quad (7)$$

O valor da resistência de convecção pode ser obtido pela Equação 8, respectivamente, onde h é o coeficiente de transferência de calor por convecção [32].

$$R = \frac{1}{hA} \quad (8)$$

Em situações reais, raramente uma resistência aparece isoladamente. Por isso, é necessário entender as associações de resistências, que podem ser em série ou em paralelo. No caso de resistências em série, a resistência equivalente pode ser calculada pela Equação 9 e para resistências em paralelo, o cálculo é pela Equação 10, sendo R_{eq} a resistência equivalente para paredes com n camadas em série ou paralelo [33].

$$R_{eq} = R_1 + \dots + R_n \quad (9)$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (10)$$

3.3.4 Cálculo das Resistência Equivalente Para o Bloco Cerâmico

A resistência térmica em cada bloco é calculada assumindo-se a sua configuração geométrica (maciça ou oca). Para tal, são consideradas as resistências parciais, que representam as oposições à transferência de calor por condução e convecção em cada uma das camadas ou elementos do bloco. A representação do sistema de resistências é apresentada no Apêndice X.

No caso específico da resistência equivalente em série sobre o bloco de cerâmica, as seguintes equações são empregadas para determinar as resistências equivalentes (R_{eq1} , R_{eq2} , R_{eq3}), que representam a soma das resistências parciais correspondentes aos diferentes percursos de fluxo de calor:

$$\begin{cases} R_{eq1} = R_9 + R_{10} + R_{11} + R_{12} + R_{13} + R_{14} + R_{15} \\ R_{eq2} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 \\ R_{eq3} = R_{18} + R_{19} + R_{20} + R_{21} + R_{22} + R_{23} + R_{24} \end{cases} \quad (11)$$

A consideração de superfícies com geometrias equivalentes permite simplificações significativas no sistema de equações, otimizando o processo de cálculo e reduzindo a complexidade do modelo. Assim, observa-se que algumas resistências parciais são idênticas devido à simetria ou equivalência estrutural. As seguintes relações de igualdade são identificadas:

$$\begin{cases} R_1 = R_3 = R_5 = R_7 \\ R_9 = R_{11} = R_{13} = R_{15} \\ R_{18} = R_{20} = R_{22} = R_{24} \end{cases} \quad (12)$$

E, complementarmente:

$$\begin{cases} R_2 = R_4 = R_6 \\ R_{19} = R_{21} = R_{23} \\ R_{19} = R_{21} = R_{23} \end{cases} \quad (13)$$

Daqui o sistema reduz-se a

$$\begin{cases} R_{eq1} = 4 \cdot R_9 + 3 \cdot R_{10} \\ R_{eq2} = 4 \cdot R_1 + 3 \cdot R_2 \\ R_{eq3} = 4 \cdot R_{18} + 3 \cdot R_{19} \end{cases} \quad (14)$$

Onde:

$$\begin{cases} R_{16} = R_8 = R_{17} = R_{25} \\ R_1 = R_9 = R_{18} \\ R_2 = R_{10} = R_{19} \end{cases} \quad (15)$$

A resistência térmica total do sistema é calculada considerando a combinação em paralelo de todas as resistências equivalentes identificadas. A lei da combinação de resistências em paralelo estabelece que o inverso da resistência total é a soma dos inversos das resistências individuais:

$$\frac{1}{R_{TOTAL}} = \frac{1}{R_{16}} + \frac{1}{R_{eq1}} + \frac{1}{R_{eq2}} + \frac{1}{R_{eq3}} + \frac{1}{R_8} + \frac{1}{R_{17}} + \frac{1}{R_{25}} \quad (16)$$

Aplicando as equivalências previamente estabelecidas, a expressão para o inverso de R_{TOTAL} pode ser notavelmente simplificada:

$$\frac{1}{R_{TOTAL}} = 4 \cdot \frac{1}{R_{16}} + 3 \cdot \frac{1}{R_{eq1}} \quad (17)$$

A partir desta expressão, a resistência total do sistema é determinada pela inversão da equação e pela reorganização algébrica:

$$R_{TOTAL} = \frac{R_{16} \cdot R_{eq1}}{4 \cdot R_{eq1} + 3 \cdot R_{16}} = \frac{R_{16} \cdot (4 \cdot R_1 + 3 \cdot R_2)}{4(4 \cdot R_1 + 3 \cdot R_2) + 3 \cdot R_{16}} \quad (18)$$

Desenvolvendo a expressão, obtemos:

$$R_{TOTAL} = \frac{R_{16} \cdot R_{eq1}}{4 \cdot R_{eq1} + 3 \cdot R_{16}} = \frac{4 \cdot R_{16} \cdot R_1 + 3 \cdot R_{16} \cdot R_2}{16 \cdot R_1 + 12 \cdot R_2 + 3 \cdot R_{16}} \quad (19)$$

Para uma avaliação quantitativa e uma compreensão do impacto das características do material e da geometria, cada resistência parcial R_i é expressa em termos das suas características. Substituindo estas definições na expressão de R_{TOTAL} , obtém-se a formulação final que interliga a resistência térmica total com os parâmetros construtivos e térmicos:

$$R_{TOTAL} = \frac{\frac{4 \cdot L_{16} \cdot L_1}{k_{bb}^2 \cdot A_{16} \cdot A_1} + \frac{3 \cdot L_{16}}{k_{bb} \cdot h \cdot A_{16} \cdot A_2}}{16 \cdot \frac{L_1}{k_{bb} \cdot A_1} + 12 \cdot \frac{1}{h \cdot A_2} + 3 \cdot \frac{L_{16}}{k_{bb} \cdot A_{16}}} \quad (20)$$

Continuando a derivação da resistência térmica total do sistema, e dada a premissa de que as áreas A_1 e A_2 são iguais, a expressão previamente estabelecida para R_{TOTAL} pode ser simplificada. Esta igualdade de áreas permite consolidar os termos relacionados com a geometria, conduzindo à seguinte formulação:

$$R_{TOTAL} = \frac{\frac{L_{16}}{k_{bb} \cdot A_{16} \cdot A_1} \cdot \left(\frac{4 \cdot L_1}{k} + \frac{3}{h}\right)}{\frac{4}{A_1} \cdot \left(\frac{4 \cdot L_1}{k_{bb}} + \frac{3}{h}\right) + 3 \cdot \frac{L_{16}}{k_{bb} \cdot A_{16}}} \quad (21)$$

Para uma maior clareza e compactação da expressão, são introduzidas duas novas variáveis auxiliares, φ_{bb} e γ_{bb} . Estas variáveis encapsulam os termos recorrentes na equação, representando, respetivamente, uma combinação de resistências por condução e convecção em certos percursos, e a resistência por condução associada a uma secção específica do material.

$$\begin{cases} \varphi_{bb} = \frac{4 \cdot L_1}{k_{bb}} + \frac{3}{h} \\ \gamma_{bb} = \frac{L_{16}}{k_{bb} \cdot A_{16}} \end{cases} \quad (22)$$

A variável φ_{bb} condensa os termos que dependem da espessura L_1 , da condutividade térmica k_{bb} e do coeficiente de transferência de calor por convecção h , assumindo uma certa proporção geométrica (quatro vezes um percurso condutivo mais três vezes um percurso convecção). A variável γ_{bb} representa a resistência à condução associada ao Elemento 16, considerando a sua espessura L_{16} , condutividade k_{bb} e área A_{16} .

Ao substituir estas novas variáveis na expressão para R_{TOTAL} , o sistema de equações reduz-se a uma forma compacta, que realça a relação entre estas grandezas:

$$R_{TOTAL} = \frac{\varphi_{bb} \cdot \gamma_{bb}}{4 \cdot \varphi_{bb} + 3 \cdot A_1 \cdot \gamma_{bb}} [K/W] \quad (23)$$

3.3.5 Cálculo das Resistência Equivalente para o Bloco de Betão

A resistência térmica em cada bloco é calculada assumindo-se a sua configuração geométrica (maciça ou oca). Para tal, são consideradas as resistências parciais, que representam as oposições à transferência de calor por condução e convecção em cada uma das camadas ou elementos do bloco. A representação do sistema de resistências é apresentada no Apêndice [W](#). Para o bloco de betão, o fluxo de calor pode ser conceptualizado através de caminhos distintos, cada um com a sua própria resistência equivalente em série. Inicialmente, são definidas duas resistências equivalentes, R_{eq1} e R_{eq2} , que representam a soma das resistências parciais:

$$\begin{cases} R_{eq1} = R_1 + R_3 + R_6 \\ R_{eq2} = R_2 + R_5 + R_7 \end{cases} \quad (24)$$

A geometria interna e a homogeneidade do material (betão) permitem a identificação de equivalências entre as resistências parciais, o que simplifica significativamente o sistema. As seguintes relações de igualdade são estabelecidas:

$$\begin{aligned} R_9 &= R_4 = R_8 \\ R_1 &= R_6 = R_2 = R_7 \\ R_3 &= R_5 \\ R_{eq1} &= R_{eq2} \end{aligned} \quad (25)$$

A aplicação destas equivalências conduz a uma forma mais compacta das resistências equivalentes:

$$\begin{cases} R_{eq1} = 2 \cdot R_1 + R_3 \\ R_{eq2} = 2 \cdot R_2 + R_5 \end{cases} \quad (26)$$

A resistência térmica total do bloco de betão é determinada pela combinação em paralelo de várias resistências, representando os diferentes caminhos através dos quais o calor pode fluir.

$$\frac{1}{R_{TOTAL}} = \frac{1}{R_9} + \frac{1}{R_{eq1}} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_{eq2}} + \frac{1}{R_8} \quad (27)$$

Utilizando as equivalências identificadas $R_4 = R_8 = R_9$, $R_1 = R_2$, $R_3 = R_5$, $R_{eq1} = R_{eq2}$, a expressão pode ser drasticamente simplificada, reflectindo a simetria do sistema:

$$\frac{1}{R_{TOTAL}} = 3 \cdot \frac{1}{R_4} + 2 \cdot \frac{1}{R_{eq1}} = 3 \cdot \frac{1}{R_4} + 2 \cdot \frac{1}{(2 \cdot R_1 + R_3)} \quad (28)$$

Para uma análise quantitativa aprofundada, as resistências parciais são substituídas pelas suas expressões em função das propriedades geométricas de espessura L , área A e propriedades termofísicas (condutividade térmica k_{bc} , coeficiente de transferência de calor por convecção h) do material. Assumindo que $A_1 = A_3$ para simplificação das áreas envolvidas nas resistências R_1 e R_3 , a resistência total é dada por:

$$R_{TOTAL} = \frac{\frac{L_4}{k_{bc} \cdot A_4 \cdot A_1} \left(\frac{2 \cdot L_1}{k_{bc}} + \frac{1}{h} \right)}{\frac{3}{A_1} \cdot \left(\frac{2 \cdot L_1}{k_{bc}} + \frac{1}{h} \right) + \frac{2 \cdot L_4}{k_{bc} \cdot A_4}} \quad (29)$$

Sejam φ_{bc} e γ_{bc} variáveis que encapsulam os termos complexos que representam as contribuições de resistências por condução e convecção em diferentes secções do bloco.

$$\begin{cases} \varphi_{bc} = \frac{2 \cdot L_1}{k_{bc}} + \frac{1}{h} \\ \gamma_{bc} = \frac{L_4}{k_{bc} \cdot A_4} \end{cases} \quad (30)$$

Ao substituir estas definições na expressão final da resistência térmica total R_{TOTAL} derivada anteriormente para o bloco de betão, obtém-se a equação:

$$R_{TOTAL} = \frac{\gamma_{bc} \cdot \varphi_{bc}}{3 \cdot \varphi_{bc} + 2 \cdot A_1 \cdot \gamma_{bc}} [K/W] \quad (31)$$

3.4 ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO

3.4.1 Som

O som é toda vibração ou onda mecânica causada por um corpo vibrante, tendo a possibilidade de ser detectada pelo ouvido humano. Além disso, o som se propaga como uma esfera, como pode ser visto na Figura 10, indo em todas as direcções. Porém a intensidade sonora varia, sendo mais concentrada de acordo com o seu direccionamento [18]

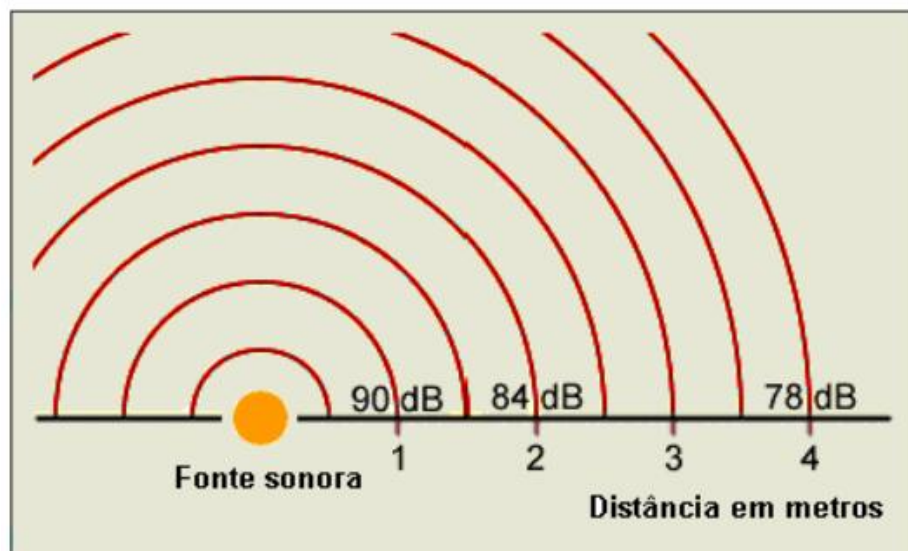


Figura 14 - Propagação do som em um campo aberto [16]

O nível sonoro, em um determinado espaço aberto, reduz conforme se afasta da fonte sonora e se aproxima do receptor [17]. Dessa forma, quanto maior a distância entre a fonte e o receptor, o nível sonoro será menor, pois a atmosfera atenua o som ao longo da sua trajetória.

3.4.2 Frequência (f)

Sendo exercida uma pressão em um meio elástico, são geradas oscilações cíclicas de pressão ou depressão, em períodos, que são intervalos de tempo, maiores ou menores. Já a frequência, é a quantidade de ciclos por período [18]

A frequência f , dada por segundo ou *Hertz*, é inversamente proporcional ao período T , que é dado em segundos, sendo expressa através da Equação 32.

$$f = \frac{1}{T} \quad (32)$$

3.4.3 O Ouvido Humano

O homem tem a capacidade de pensar e pode utilizar esse pensamento para criar, inovar e refazer a natureza de forma que suas necessidades sejam sanadas. O pensamento vem da realidade conhecida por cada um, que é determinada pelos seus sentidos (audição, olfacto, paladar, tacto e visão). Na falta de um desses sentidos, a percepção da realidade não será completa. Todos os sentidos possuem mecanismos próprios de funcionamento, mas o produto final é gerado no cérebro, que por sua vez decodifica e interpreta essas informações. O ouvido é responsável pela captação dos sons que variam entre (20 Hz e 20000 Hz). Além disso, é capaz de distinguir na ordem de 3 a 4 mil diferentes tons, em um intervalo de tempo na ordem de 0,020 s.

O autor ainda afirma que o ouvido é dividido, didacticamente, em três partes: o ouvido externo, médio e interno, como pode ser visto na Figura 15. A parte externa é composta pelo pavilhão da orelha, canal auditivo e tímpano, de tal forma que o pavilhão da orelha tem como função colectar e transmitir as ondas sonoras que fazem o tímpano vibrar. O ouvido médio funciona como um amplificador, aumentando as vibrações do tímpano e é composto por uma cadeia de ossículos: martelo, bigorna, estribo e os músculos: tensor do tímpano e músculo do estribo.

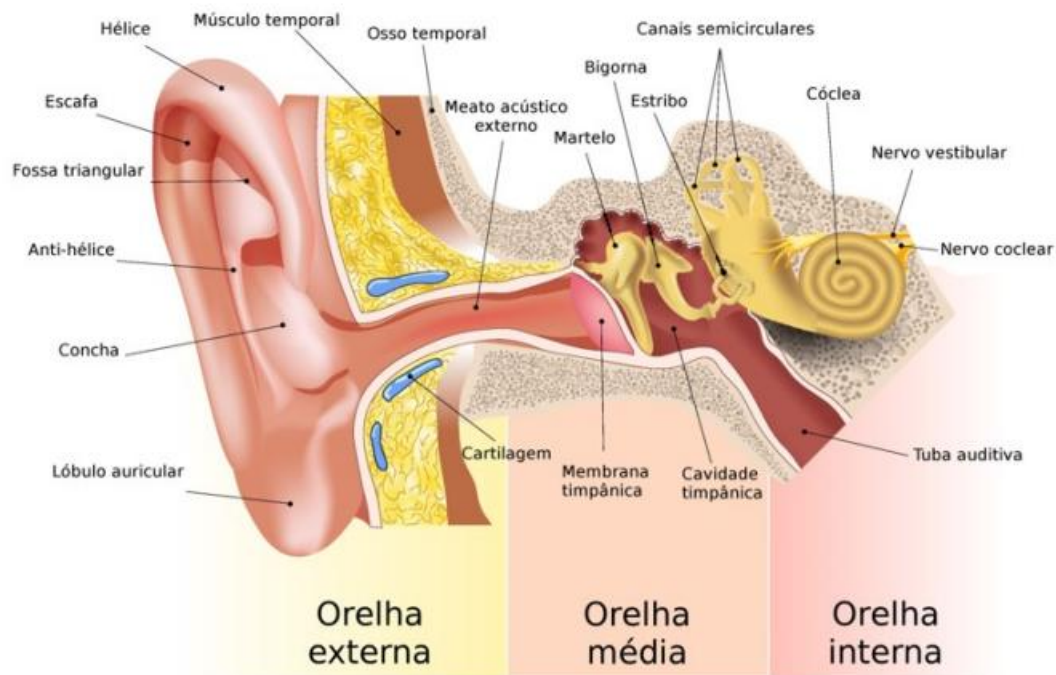


Figura 15 - Divisão do ouvido [18]

3.4.4 O Ruído

O ruído é definido como um som que atrapalhe o andamento de determinada actividade. Desse modo, a definição de ruído se torna subjectiva, levando em conta o grau de percepção sonora do receptor, o ambiente analisado e as finalidades para as quais certa área foi designada. De forma geral, quando um elemento construtivo é exposto ao som, isto é, submetido a uma variação de pressão sonora, ele é forçado a vibrar. A facilidade com que este elemento vibra, de modo geral, é inversamente proporcional à sua massa.



Figura 16 - Poluição sonora [18]

O ruído é todo som indesejado [18]. Visto que, sons que são considerados ruídos para uns, são considerados como sons agradáveis para outras. Dessa forma, pode-se dizer que ruído é uma oscilação intermitente ou aleatória.

A exposição ao ruído pode causar alterações sérias no organismo, visto que um longo tempo de exposição resulta em sobrecargas ao corpo humano, distúrbios hormonais e tensões musculares, ocasionando uma mudança no comportamento do receptor, podendo gerar ansiedade e o esgotamento mental [16]

3.4.5 Isolamento Acústico

O isolamento acústico é a capacidade de uma determinada superfície em reter o som, e esta capacidade varia conforme a densidade dos elementos que compõem a superfície [15]. O isolamento acústico ocorre quando o som não passa de um ambiente para outro. Além disso, o isolamento varia conforme a densidade dos materiais; conforme a densidade aumenta, o isolamento tende a ser maior. Esta eficácia no isolamento pode ser obtida associando materiais, podendo ser de diferentes naturezas ou utilizando diversas camadas do mesmo material. Entretanto, na presença de furos, frestas ou similares, o som tende a passar por esses espaços, pois, assim como os líquidos, o som se desloca pelo caminho mais fácil [18]. Entretanto, o som não deve ser isolado completamente, visto que a completa eliminação do ruído é extremamente cara e

desconfortável para os usuários, pois o ambiente se tornaria muito silencioso, aguçando a sensibilidade da audição, fazendo com que seja possível ouvir o próprio corpo a funcionar [17].

3.4.6 Determinação da Massa Específica (ρ)

A massa específica do material (ρ), é uma propriedade intrínseca que descreve a massa por unidade de volume. A sua determinação é expressa pela relação Equação 33.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{c \cdot l \cdot h} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (33)$$

Onde:

m - É a massa total do material (kg);

V - É o volume total do material em (m^3);

c, l e h - São as dimensões lineares do bloco (comprimento, largura e altura) em (m).

3.4.7 Cálculo da Massa Específica Superficial (ρ_A)

A massa específica superficial (ρ_A) relaciona a massa do material com a sua área de superfície transversal. A massa específica superficial é calculada como:

$$\rho_A = \frac{m}{A} = \frac{m}{c \cdot l} \cdot \frac{h}{h} = \rho \cdot h \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad (34)$$

Onde:

m - É a massa do material em (kg);

A - É a área da superfície transversal do bloco em (m^2).

3.4.8 Avaliação da Perda de Transmissão Sonora (PT)

A perda de transmissão sonora (PT), também conhecida como índice de redução sonora ou isolamento a sons aéreos, quantifica a capacidade de um elemento em atenuar o som que o atravessa. A formulação para a perda de transmissão sonora é dada por:

$$PT = 20 \cdot \log(f \cdot \rho_A) - 47 \text{ (dB)} \quad (35)$$

Onde:

PT - É a perda de transmissão [dB];

ρ_A - É a massa específica superficial do bloco [kg/m²]

f - É a frequência das ondas sonoras [Hz], $f \in [20; 20000]$;

3.5 CUSTO DO CICLO DE VIDA

A análise do Custo do Ciclo de Vida (CCV) é uma abordagem sistemática e económica que visa quantificar os custos totais de um produto, sistema ou serviço ao longo de toda a sua existência. No presente contexto, aplicado à comparação entre blocos de betão e blocos de cerâmica, o CCV transcende a simples análise do custo de aquisição da matéria-prima e produção, portão ao portão.

3.5.1 Relações Volumétricas e Mássicas entre Blocos

Para estabelecer uma base de comparação equitativa entre os blocos de betão e cerâmica, é importante definir as suas características físicas. Assume-se que, para fins de aplicação, os volumes dos blocos de betão e cerâmica são equivalentes, o que permite uma substituição directa em termos de espaço ocupado na estrutura:

$$V_{bb} = V_{bc} \quad (36)$$

No entanto, devido às diferentes propriedades de massa específica dos materiais (betão e cerâmica), a massa dos blocos não é igual, um aspecto crucial que influencia não só os custos de transporte, o comportamento acústico, como foi visto anteriormente:

$$m_{bb} \neq m_{bc} \quad (37)$$

3.5.1 Definição da Unidade Funcional (UF) e Massa da Unidade Funcional (m_{UF})

A Unidade Funcional (UF) é um conceito central na ACV, tanto em termos de custo como de impacto ambiental. Representa a função quantificada de um sistema de produto, servindo como base de referência para a comparação entre alternativas.

A Massa da Unidade Funcional (m_{UF}) é a massa de material, isto é, a massa do bloco necessária para cumprir a função definida pela UF . Esta é calculada pela massa de um bloco padrão m_{bloco} dividida pela unidade funcional, o que normaliza a massa para o serviço que o bloco providencia:

$$m_{UF} = \frac{m_{bloco}}{UF} \quad (38)$$

Para que a comparação do CCV seja válida e justa, a massa associada à unidade funcional para cada tipo de bloco deve ser normalizada. Assume-se, para efeitos de comparação económica directa, que a massa requerida para entregar a unidade funcional é a mesma para ambos os tipos

de blocos, o que implica que a definição da UF já incorpora e compensa as diferenças de massa entre os materiais:

$$m_{UF,bb} = m_{UF,bc} \quad (39)$$

Esta igualdade não significa que os blocos individuais tenham a mesma massa $m_{bb} \neq m_{bc}$, mas sim que, quando considerados em relação à sua capacidade de fornecer uma função específica a UF , a sua contribuição mássica por unidade funcional é equivalente. Isto pode ser conseguido ajustando o número de blocos de cada tipo necessários para a UF , ou pela própria definição da UF .

3.5.2 Cálculo do Custo do Ciclo de Vida

O CCV total para o sistema em análise é determinado através da multiplicação da UF pelo somatório dos custos associados a cada uma das etapas ou componentes da Unidade Funcional ccv_{UFi} . Esta abordagem permite-nos incorporar todos os custos associados ao ciclo de vida, normalizados pela função prestada:

$$CCV = UF \cdot \sum_{i=1}^n ccv_{UFi} [MZN] \quad (40)$$

3.6 FORMULAÇÃO E DESCRIÇÃO MODELO MATEMÁTICO DECISIONAL

O modelo decisional proposto visa comparar o desempenho global do bloco de betão e do bloco de cerâmica através de um índice ponderado que sintetiza a *performance* em diferentes critérios. A metodologia baseia-se numa abordagem de agregação de valores normalizados, permitindo a identificação da Melhor Alternativa (MA).

3.6.1 Atribuição de Pesos aos Critérios (μ)

Cada uma das quatro análises principais ACV, Desempenho Térmico, Desempenho Acústico, e CCV, constitui um critério de avaliação no modelo. A importância relativa de cada critério é expressa através de um peso μ_i . A soma de todos os pesos deve ser igual a 1, garantindo que a ponderação total não distorça a análise:

$$\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 = 1 \quad (41)$$

Onde $\mu_i \in [0,1]$, indicando que cada peso é um valor entre 0 e 1, inclusive. Os pesos são definidos como:

- μ_1 (ACV) = 40%;
- μ_2 (Desempenho Térmico) = 30%;
- μ_3 (Desempenho Acústico) = 15%;
- μ_4 (CCV) = 15%.

3.6.2 Normalização e Quantificação da Vantagem (θ_i)

Para cada critério, é necessário quantificar o desempenho relativo dos dois blocos e normalizar esta diferença. Isto é feito através de um factor θ_i , que incorpora tanto qual bloco é superior para um dado aspecto, quanto a magnitude dessa superioridade. A formulação para θ_i é:

$$\theta_i = \frac{1}{n} \cdot \left(\sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{1}{\beta_i} \right) \cdot S_i \right) \quad (42)$$

Onde:

n - É o número de subcritérios analisados dentro de cada uma das quatro análises principais.

S_i - É um indicador binário que define qual bloco é favorecido para o subcritério i :

$S_i = -1$, se o subcritério i analisado favorece o bloco de betão.

$S_i = 1$, se o subcritério i analisado favorece o bloco de cerâmica.

β_i - É uma métrica que quantifica quão superior um bloco é em relação ao outro para o subcritério i . O valor β_i representa a relação entre a performance superior e a inferior para esse subcritério, de modo que $\beta_i \geq 1$. Assim, $\left(1 - \frac{1}{\beta_i} \right)$, mede o grau de superioridade.

Média da Superioridade para a Análise Acústica ($\bar{\beta}$)

No caso específico da análise acústica, onde o desempenho é representado por uma curva logarítmica de perda de transmissão em função da frequência, a determinação de β_i torna-se complexa. Para este critério, a média da superioridade ($\bar{\beta}$) é particularmente útil para agregar o desempenho ao longo de um espectro de frequências.

$$\bar{\beta} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \beta_i \quad (43)$$

Onde o β_i para a acústica é a relação entre as perdas de transmissão do bloco superior e do bloco inferior em cada frequência i . A média $\bar{\beta}$ oferece uma visão agregada da magnitude das vantagens que o bloco superior apresenta em termos de atenuação sonora ao longo do espectro de frequências.

3.6.3 O Índice da Melhor Alternativa (MA)

O índice da Melhor Alternativa (MA), é o resultado do modelo decisional. Ele agrega as contribuições ponderadas de cada critério para fornecer uma medida global da performance relativa entre os dois tipos de blocos. O MA é calculado pela soma ponderada dos factores θ_i de cada critério:

$$MA = \frac{1}{4} \cdot \left(\sum_{i=1}^4 \theta_i \cdot \mu_i \right) \quad (44)$$

Onde:

$MA = -1$ significa que o bloco de betão é 100% superior ao bloco de cerâmica em todos os critérios ponderados.

$MA = 1$ significa que o bloco de cerâmica é 100% superior ao bloco de betão em todos os critérios ponderados.

$MA = 0$ significa que os dois blocos apresentam um desempenho equivalente no geral, considerando todos os critérios e seus pesos.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No presente capítulo procede-se à apresentação dos resultados e a sua discussão. No primeiro subcapítulo são apresentados comparativamente os resultados dos impactos ambientais entre os blocos de betão e de cerâmica. No segundo subcapítulo são apresentados os resultados da comparação das resistências térmicas entre os blocos de betão e de cerâmica. No terceiro subcapítulo são apresentados os resultados de comparação da perda de transmissão sonora entre os dois blocos, no quarto e último subcapítulo serão apresentados os resultados de comparação do custo do ciclo de vida e a proposta da melhor alternativa.

4.1 IMPACTOS AMBIENTAIS

A avaliação do ciclo de vida (ACV) dos blocos permitiu quantificar e comparar os seus impactos ambientais ao longo do ciclo de vida. A análise iniciou-se com a normalização dos impactos para identificar as categorias de maior relevância, seguida pela caracterização detalhada dos impactos mais proeminentes.

4.1.1 Normalização dos Impactos Ambientais

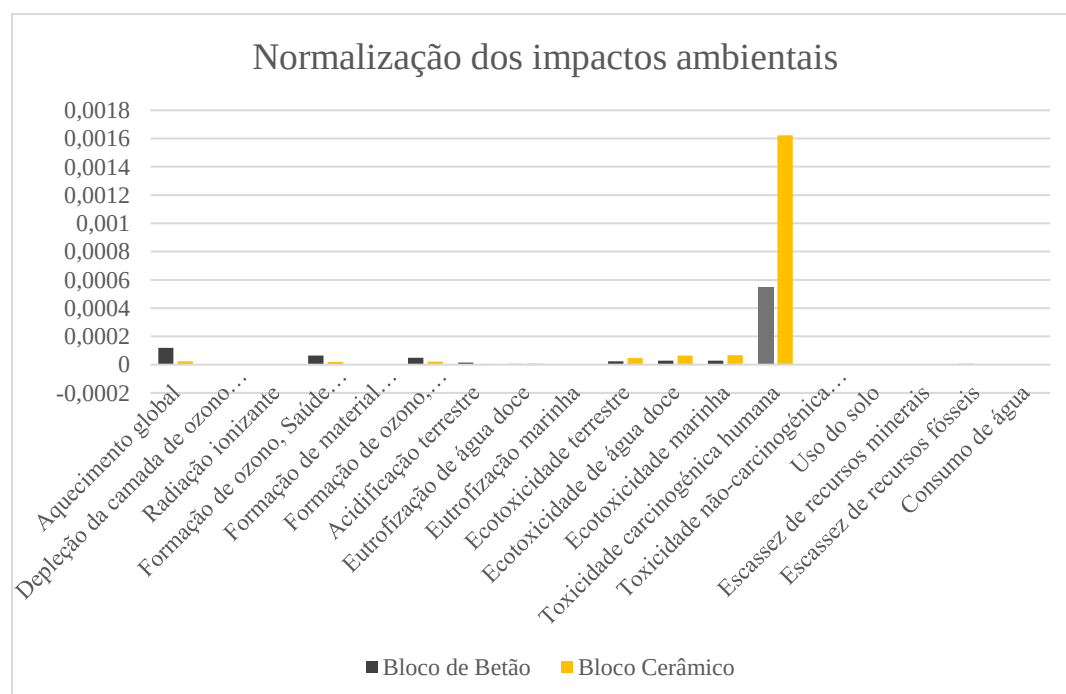


Figura 17 - Normalização dos Impactos Ambientais (Fonte: O Autor)

A Figura 17 ilustra os resultados da normalização dos impactos ambientais para o bloco de betão e o bloco de cerâmica em diversas categorias de impacto. Esta fase é importante para identificar as áreas onde cada material apresenta os maiores impactos em relação a uma referência, permitindo direccionar a análise subsequente para as categorias mais significativas.

4.1.2 Caracterização dos Impactos Ambientais

A caracterização dos impactos ambientais fornece valores absolutos para cada categoria de impacto, permitindo uma comparação directa entre os dois tipos de blocos. A seguir, são apresentados os resultados das categorias de impacto identificadas como mais relevantes:

Aquecimento Global

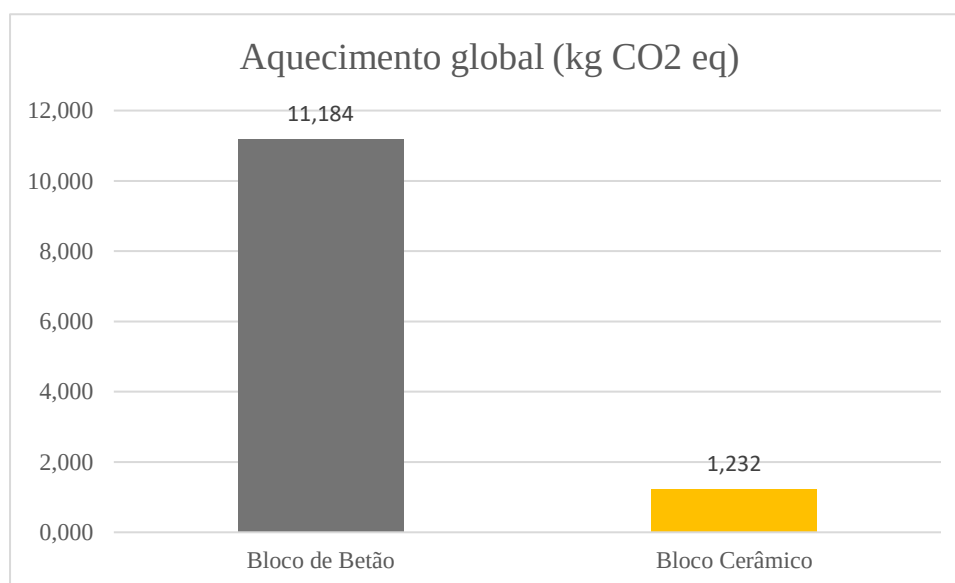


Figura 18 - Impactos ambientais na categoria de aquecimento global (Fonte: O Autor)

Na categoria de Aquecimento Global, o bloco de betão registou uma emissão de 11,184 *kg CO2 eq*, enquanto o bloco cerâmico apresentou um valor substancialmente inferior de 1,232 *kg CO2 eq*. Esta diferença quantifica-se numa superioridade do bloco cerâmico, cujo impacto é aproximadamente 89% menor que o do Bloco de Betão, posicionando-o como uma alternativa significativamente mais favorável sob a perspectiva de contribuição para o efeito de estufa.

Formação de Ozono

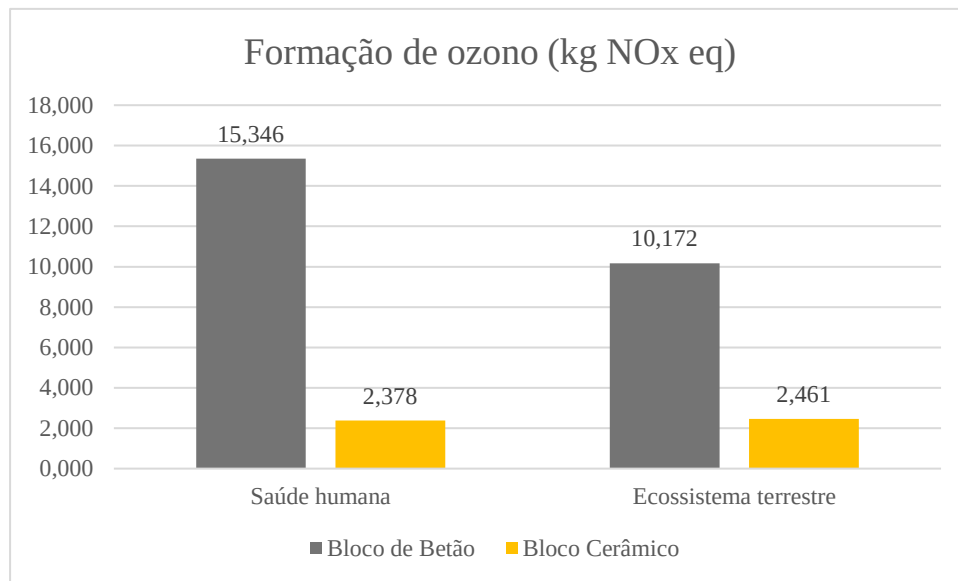


Figura 19 - Impactos ambientais na categoria de formação do ozono (Fonte: O Autor)

Relativamente à Formação de Ozono, os impactos manifestaram-se de forma diferenciada. No que concerne à saúde humana, o bloco de betão registou 15,346 *kg NOx eq*, contrastando com os 2,378 *kg NOx eq* do bloco cerâmico, o que representa um impacto 84,5% menor para o bloco cerâmico. Para o Ecossistema Terrestre, os valores foram de 10,172 *kg NOx eq* para o bloco de betão e 2,461 *kg NOx eq* para o bloco cerâmico, indicando que o bloco cerâmico demonstra um impacto 75,8% menor nesta subcategoria, sublinhando a sua menor contribuição para a poluição fotoquímica.

Ecotoxicidade Terrestre

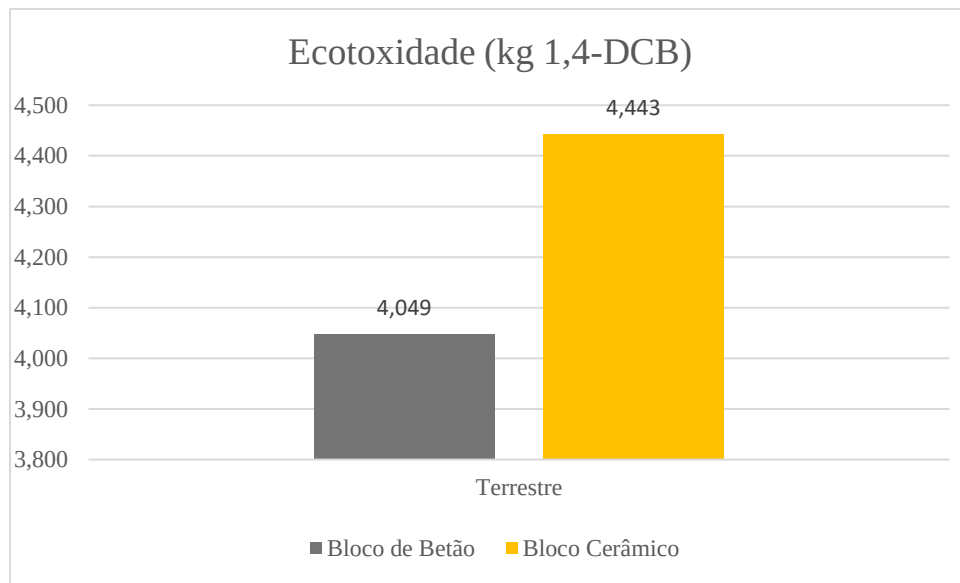


Figura 20 - Impactos ambientais na categoria de Ecotoxicidade (Fonte: O Autor)

Na categoria de Ecotoxicidade Terrestre, o bloco de betão apresentou um impacto de 4,049 *kg 1,4 – DCB*, enquanto o bloco cerâmico registou 4,443 *kg 1,4-DCB*. Embora a diferença seja menos acentuada que noutras categorias, o bloco de betão demonstrou uma vantagem, com um impacto aproximadamente 9% menor em comparação com o bloco cerâmico nesta dimensão de toxicidade ambiental.

Toxicidade Cancerígena

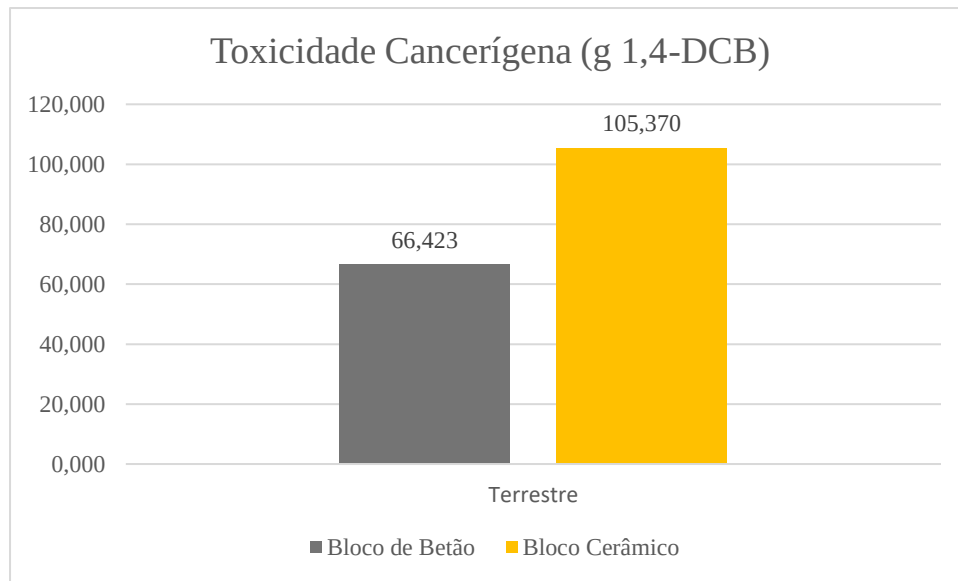


Figura 21 - Impactos ambientais na categoria de Toxicidade Cancerígena (Fonte: O Autor)

Para a Toxicidade Cancerígena, os resultados indicaram 66,423 g 1,4 – DCB para o Bloco de Betão e 105,370 g 1,4 – DCB para o Bloco Cerâmico. Neste aspecto, o bloco de betão revela-se com um impacto significativamente inferior, apresentando uma redução de aproximadamente 40% nas substâncias com potencial cancerígeno em comparação com o bloco cerâmico, destacando a sua superioridade em termos de segurança e saúde humana sob esta óptica.

4.2 RESISTÊNCIAS TÉRMICAS

A análise do desempenho térmico dos blocos de betão e cerâmica foi realizada com base no cálculo das resistências térmicas totais, conforme a metodologia detalhada na Secção 3.2. Os resultados são apresentados separadamente para as configurações de bloco maciço e oco, evidenciando o impacto da geometria na capacidade de isolamento térmico. Para esta análise, uma resistência térmica superior indica um melhor desempenho isolante.

4.2.1 Resistência Térmica de Blocos Maciços

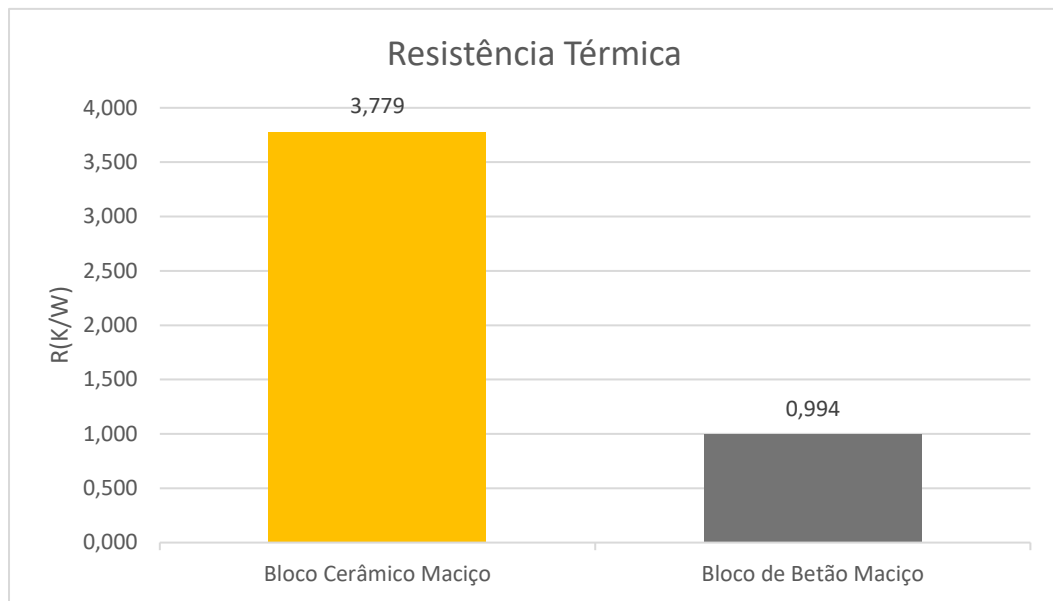


Figura 22 - Resistência térmica para blocos maciços (Fonte: O Autor)

Na configuração maciça, o Bloco Cerâmico Maciço demonstrou uma resistência térmica de $3,779 K/W$, enquanto o Bloco de Betão Maciço registou $0,994 K/W$. Esta diferença substancial indica que o Bloco Cerâmico Maciço possui uma capacidade isolante significativamente superior, sendo aproximadamente 73,7% mais eficiente em termos de resistência térmica comparativamente ao Bloco de Betão Maciço.

4.2.2 Resistência Térmica de Blocos Ocos

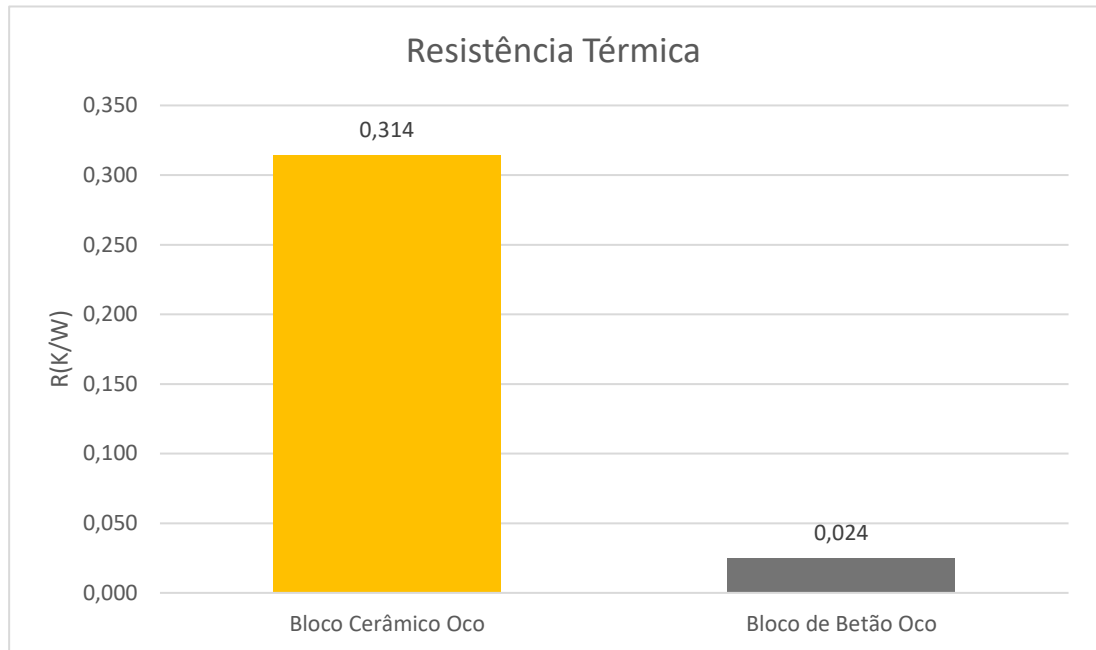


Figura 23 - Resistência térmica para blocos ocos (Fonte: O Autor)

Para a configuração de blocos ocos, o Bloco Cerâmico Oco apresentou uma resistência térmica de 0,314 K/W, enquanto o Bloco de Betão Oco registou 0,024 K/W. Nesta geometria, a superioridade do Bloco Cerâmico Oco é ainda mais acentuada, com uma resistência térmica aproximadamente 92,4% maior que a do Bloco de Betão Oco.

4.3 DESEMPENHO ACÚSTICO

Nesta secção apresenta-se os resultados de comparação do índice de perda de transmissão sonora em função da frequência para os blocos de betão e de cerâmica.

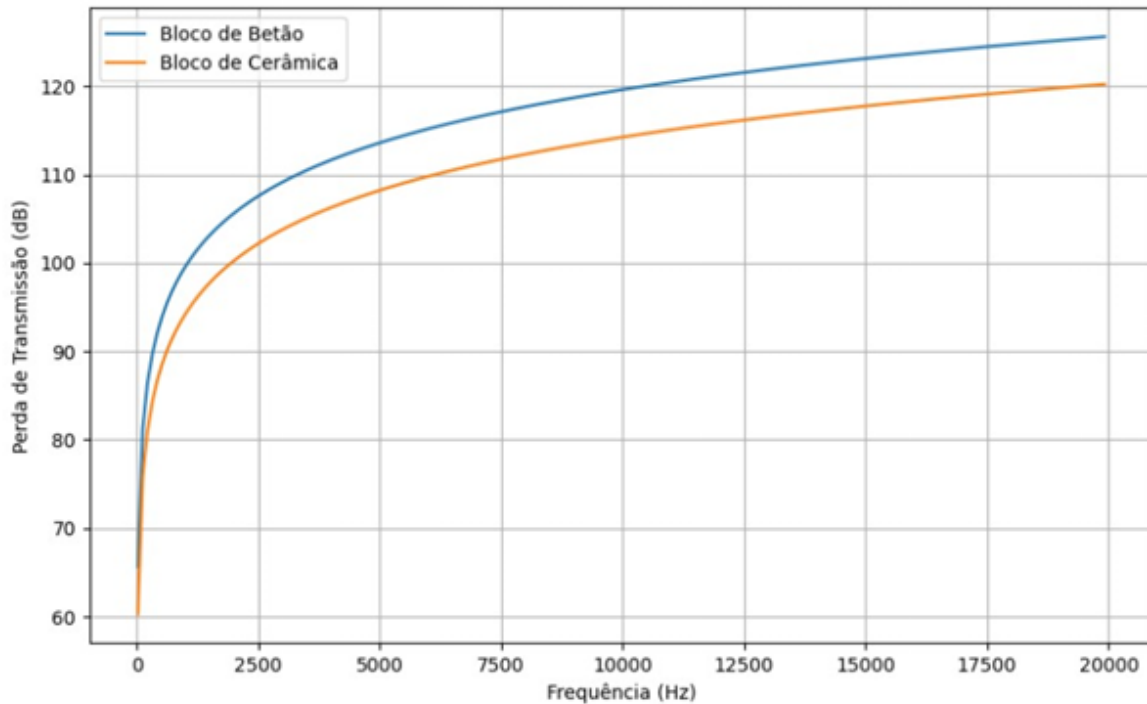


Figura 24 - Perda de transmissão sonora (Fonte: O Autor)

A figura acima ilustra o comportamento da perda de transmissão sonora entre os blocos de betão e de cerâmica ao longo do espectro de frequências, de 0 a 20 000 *Hz*. Observa-se que, para a totalidade da gama de frequências analisada, o bloco de betão apresenta consistentemente valores de Perda de Transmissão superiores aos do bloco de cerâmica. À 10 000 *Hz*, o bloco de betão atinge aproximadamente 117 *dB* de perda de transmissão, enquanto o bloco de cerâmica se situa em torno de 112 *dB*. Esta diferença indica que o bloco de betão possui uma capacidade de isolamento do som em todo o espectro, atenuando as ondas sonoras de forma mais pronunciada.

4.4 CUSTO DO CICLO DE VIDA

Nesta secção apresenta-se os resultados do CCV para o bloco de betão e o bloco cerâmico, com base nos dados de custos unitários e quantidades de materiais/energia envolvidos. Os dados são apresentados em tabelas detalhadas para cada tipo de bloco e sumarizados num gráfico comparativo.

A Tabela 1 apresenta os custos do ciclo de vida dos blocos de betão e de cerâmica, numa fronteira do portão ao portão.

Tabela 1 - Custos do ciclo de vida do bloco de betão (Fonte: O Autor)

Custos do ciclo de vida do bloco de betão				
Item	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Total
Cimento	0,1667	<i>kg</i>	15 MZN	2,5 MZN
Pedra	0,5	<i>kg</i>	2 MZN	1 MZN
Areia	0,333	<i>kg</i>	1,5 MZN	0,5 MZN
Água	0,0112	<i>kg</i>	0,1 MZN	0,00112 MZN
Gasóleo	0,0147	<i>MJ</i>	2,49 MZN	0,036603 MZN
Electricidade	0,0001433	<i>kWh</i>	12 MZN	0,0017 MZN
<i>CCV_{UFI}</i>				6,631 MZN
Custos do ciclo de vida do bloco de cerâmico				
Item	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Total
Argila	1	<i>kg</i>	2,5 MZN	2,5 MZN
Água	0,018	<i>kg</i>	0,1 MZN	0,0018 MZN
Gasóleo	0,0297	<i>MJ</i>	2,49 MZN	0,074 MZN
Electricidade	0,001353	<i>kWh</i>	12 MZN	0,016 MZN
<i>CCV_{UFI}</i>				2,593 MZN

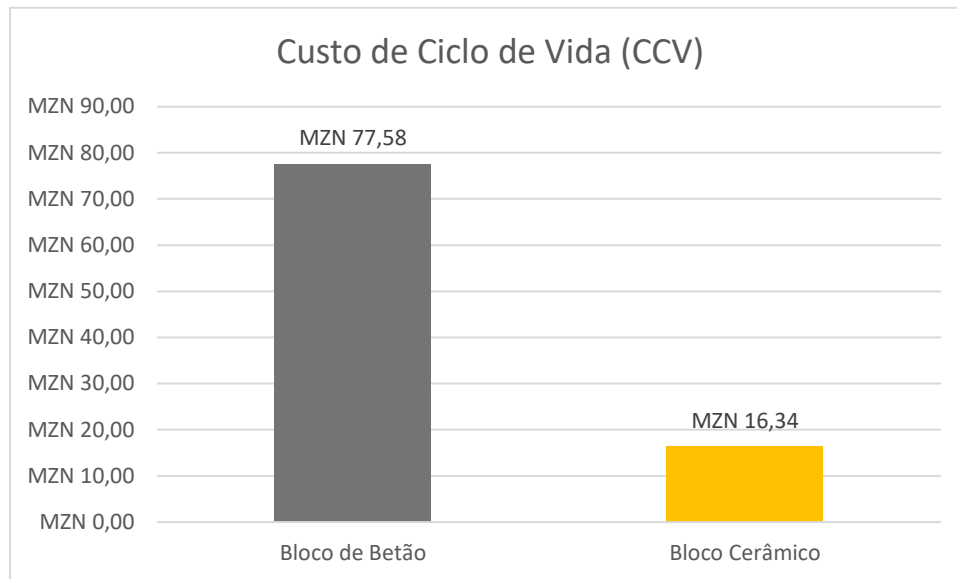


Figura 25 - Custo de Ciclo de Vida Comparativo (Fonte: O Autor)

A análise do CCV para os blocos de betão e cerâmico revelou uma notável discrepância entre os custos totais, MZN 6,631 para betão e MZN 2,593 para cerâmica em função das quantidades da unidade funcional e os valores finais apresentados no Gráfico 1 em relação as massas absolutas dos blocos. Contudo CCV é maioritariamente influenciado pela UF , o bloco cerâmico demonstra ser mais económico, com um custo final aproximadamente 4,739 vezes inferior ao do bloco de betão quando $V_{bb} = V_{bc}$ e $m_{bb} > m_{bc}$, o que posiciona como uma opção vantajosa do ponto de vista económico.

4.5 PROPOSTA DA MELHOR ALTERNATIVA

Tabela 2 - Valores de β_i e factor de direcção (S_i) por Critério (Fonte: Autor)

Critério	Bloco de betão	Bloco cerâmico	Unidade	β_i	S_i
Impactos Ambientais					
Aquecimento Global	11,184	1,232	<i>kg CO2 eq</i>	9,078	1
Formação de Ozono (Saúde Humana)	15,346	2,378	<i>kg NOx eq</i>	6,453	1
Formação de Ozono (Ecossistema Terrestre)	10,172	2,461	<i>kg NOx eq</i>	4,133	1
Toxicidade Cancerígena	66,423	105,370	<i>g 1,4 – DCB</i>	1,586	–1
Ecotoxicidade Terrestre	4,049	4,443	<i>kg 1,4 – DCB</i>	1,097	–1
Desempenho Térmico					
Resistência Térmica (Maciço)	0,994	3,779	<i>K/W</i>	3,802	1
Resistência Térmica (Oco)	0,024	0,314	<i>K/W</i>	13,083	1
Desempenho Acústico					
Perda de Transmissão	–	–	<i>dB</i>	1,077	–1
Custo do Ciclo de Vida					
CCV	77,58	16,37	<i>MZN</i>	4,739	1

A tabela abaixo, apresenta o factor de vantagem θ_i calculado para cada uma das quatro análises, indicando a superioridade geral de um bloco dentro dessa categoria.

Tabela 3 - Vantagem Normalizada θ_i por Análise (Fonte: O Autor)

Análise	n	$\left(1 - \frac{1}{\beta_i}\right) \cdot S_i$	θ_i	Bloco Favorecido
Impactos Ambientais	5	2,035	0,407	Cerâmico
Desempenho Térmico	2	1,661	0,8305	Cerâmico
Desempenho Acústico	1	-0,071	-0,071	Betão
Custo de Ciclo de Vida	1	0,789	0,789	Cerâmico

O valor calculado de $MA = 0,488$ é positivo, o que aponta inequivocamente para uma vantagem geral do bloco cerâmico. Este resultado reflecte a performance superior do bloco cerâmico nas categorias de Impactos Ambientais ($\theta_i = 0,407$), Desempenho Térmico ($\theta_i = 0,8305$) e Custo de Ciclo de Vida ($\theta_i = 0,789$). Embora o bloco de betão tenha apresentado uma ligeira vantagem no Desempenho Acústico ($\theta_i = -0,071$), a contribuição positiva das outras áreas para o bloco cerâmico foi significativamente maior.

A magnitude de 0,488, que se situa aproximadamente a meio caminho entre 0 e 1, sugere que, embora o bloco cerâmico seja a melhor alternativa global, a sua superioridade não é absoluta, pois não atinge o índice 1, que seria a superioridade máxima. O indicador MA indica que há um diferencial de desempenho favorável ao bloco cerâmico, mas não a ponto de anular completamente os atributos do bloco de betão.

5. CONCLUSÕES

O estudo comparativo do ciclo de vida dos blocos de betão e de cerâmica, fundamental para a construção civil em Moçambique, apresenta um quadro decisivo que transcende a mera análise técnica. Os resultados obtidos não apenas quantificam o desempenho, mas também delineiam um caminho claro para uma construção mais sustentável, eficiente e economicamente vantajosa.

- A nível ambiental, a superioridade do bloco cerâmico é quantificável com uma pegada ecológica significativamente menor em comparação com o bloco de betão. Esta vantagem é particularmente expressiva em categorias de alto impacto, como o aquecimento global, onde a redução é expressa pelo grau de superioridade β_i de 9,078, e a formação de ozono com um grau de superioridade β_i de 6,453. A contribuição substancial destes resultados para o desempenho global é evidente na vantagem normalizada θ_i de 0,407 para a categoria de Impactos Ambientais, solidificando o papel do bloco cerâmico como um pilar essencial para a construção sustentável e para o cumprimento das metas ambientais do país;
- Em termos de desempenho térmico, o bloco de cerâmica apresenta uma capacidade de isolamento térmico muito elevada, com uma resistência térmica de $3,779 K/W$ para o bloco cerâmico maciço, que representa uma superioridade de 73,7% em relação ao bloco de betão ($0,994 K/W$). Esta vantagem é ainda mais notável nos blocos ocos, onde a resistência térmica do bloco de cerâmica é de $0,314 K/W$ e supera o desempenho do betão em 92,4%, conforme evidenciado pelo grau de superioridade β_i de 13,083 para este critério. A contribuição substancial deste factor para a análise global é reflectida na vantagem normalizada θ_i de 0,8305, o que reforça o papel do bloco cerâmico como um isolante térmico de excelência;
- Embora o bloco de betão apresente uma ligeira vantagem no isolamento acústico em certas frequências, esta é uma consideração pontual que não ofusca a vantagem abrangente e multifacetada do bloco cerâmico, reflectida numa vantagem normalizada θ_i de apenas -0,071.
- Do ponto de vista económico, a análise do custo de ciclo de vida apresenta uma vantagem para o bloco cerâmico devido a quantidade e custo das matérias-primas, um valor suportado pelo grau de superioridade β_i de 4,739 que o posiciona como uma proposta de valor inquestionável;

- No centro desta análise encontra-se o Índice da Melhor Alternativa (MA) de 0,488. Este valor valida a superioridade global do bloco cerâmico. A sua vantagem, embora não atinja o índice máximo de 1, que seria a superioridade absoluta, é claramente sistémica e profundamente enraizada nos critérios de maior impacto. A contribuição substancial e positiva dos Impactos Ambientais (θ_i de 0,407), do Desempenho Térmico (θ_i de 0,8305) e do Custo de Ciclo de Vida (θ_i de 0,789) anula de forma decisiva a ligeira desvantagem no Desempenho Acústico (θ_i de -0,071). O modelo matemático desenvolvido não só valida esta superioridade de forma quantitativa como também fornece uma ferramenta robusta e transparente para futuras decisões estratégicas de material na construção civil moçambicana, apontando de forma conclusiva para o bloco cerâmico como a escolha mais estratégica e sustentável.

6. RECOMENDAÇÕES

- Recomenda-se que as entidades reguladoras moçambicanas incorporem métricas de desempenho de ciclo de vida nos códigos e regulamentos de construção em Moçambique;
- Desenvolver-se políticas públicas que incentivem o investimento em materiais com um menor CCV, como o bloco cerâmico;
- Criação de parcerias entre universidades, centros de investigação e a indústria para explorar soluções de design e formulação que melhorem o isolamento acústico dos blocos cerâmicos, sem comprometer as suas propriedades térmicas e ambientais;
- Aplicação da metodologia de ACV e de modelos multicritério como o MA nos currículos de graduação e pós-graduação em engenharia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Carvalho, A., Matos, H.A., Gani, R., 2013. SustainPro – a tool for systematic process analysis, generation and evaluation of sustainable design alternatives. *Computers & Chemical Engineering* 50, 8-27.
- [2] Raskin, P., Gallopín, G., Gutman, P., Hammond, A., & Swart, R. (1998). *Bending the Curve: Toward Global Sustainability*. Stockholm Environmental Institute. Global Scenario Group.
- [3] Goodland, R. (1995). The Concept of Environmental Sustainability. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol. 26, pp. 1-24.
- [4] Morelli, J. (2011). Environmental Sustainability: A Definition for Environmental Professionals. *Journal of Environmental Sustainability*, Vol. 1, pp. 19-27.
- [5] United Nations Environment Programme. (2007). *Life Cycle Management A Business Guide to Sustainability*. UNEP and Danish Standards.
- [6] WCED. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development - Our Common Future*. Oslo.
- [7] Pinheiro, M.D., 2014. *Lectures. Impactes Ambientais*, MEGI, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.
- [8] Mimoso, A.F., Carvalho, A., Mendes, A.N., Matos, H.A., 2015. Roadmap for Environmental Impact Retrofit in chemical processes through the application of Life Cycle Assessment methods. *Journal of Cleaner Production* 90, 128-141.
- [9] Filho, J. A. S. *Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas*. Universidade de São Carlos, 2007.
- [10] Nunes, et al. Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção. *Revista Tecnológica*. Maringá, v. 17, n. 1, 2008.
- [11] Rizzatti, E. Tipologia de blocos cerâmicos estruturais: influência da geometria dos blocos no comportamento mecânico da alvenaria. *Revista Materia*, 2011.
- [12] PRé Consultants. (2025). <http://www.pre-sustainability.com>
- [13] Rezende, M. S.; Filho, J. C. G. de M.; Nascimento, N. L. F. N. O desempenho acústico segundo a norma de desempenho ABNT NBR 15575 - Isolamento sonoro contra ruído aéreo de vedações verticais internas medido em campo. Goiânia, 2014.
- [14] Maia, P. A. *O ruído nas obras da construção civil e o risco de surdez ocupacional*. Campinas, 1999.
- [15] Everest, F.A. *Master handbook of Acoustics*. 40ed. New York/USA. 2001.

- [16] Coelho, L. F. S.; Silva, V. F. R. M. e. Análise cienciométrica sobre conforto acústico em edificações. Anápolis, 2018.
- [17] Bistafa, Sylvio R. Acústica aplicada ao controle do ruído: 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011. 380 p.
- [18] Carvalho, R. P. Acústica arquitectónica: 1 ed. Brasília: Thesaurus Editora, 2006. 167 p.
- [19] IEA (2021). Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Paris: IEA
- [20] ONU. (2015). Transformando o Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nações Unidas.
- [21] WBCSD (2022). ESG and the Built Environment: A Framework for Action.
- [22] CTA (2022). Relatório Económico Anual. Maputo: CTA.
- [23] Duran et al., 2006. *Eco-efficiency analysis of building materials using Life Cycle Assessment*. International Journal of Life Cycle Assessment, v. 11, n. 3, p. 173–182, 2006.
- [24] Dixit, 2019. *Life cycle embodied energy analysis of residential buildings: A review of literature to investigate embodied energy parameters*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 79, p. 390–413, 2019.
- [25] Cabeza et al., 2014. Life Cycle Assessment (LCA) and Life Cycle Energy Analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 29, p. 394–416, 2014.
- [26] González-Castaño et al., 2019. Thermal behavior of lightweight and heavyweight masonry systems: Experimental analysis and numerical modeling. Energy and Buildings, v. 199, p. 142–154, 2019.
- [27] Asdrubali et al., 2007. Sound insulation properties of sustainable building elements. Building Acoustics, v. 14, n. 1, p. 1–12, 2007.
- [28] Costa, L. H. L. Avaliação do ciclo de vida de blocos estruturais e cerâmicos utilizados em alvenaria na construção civil. Trabalho de conclusão de curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semiárido, 2019.
- [29] FIEMG, Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. Guia Técnico Ambiental da Indústria da Cerâmica Vermelha. Belo Horizonte/MG, 2013.
- [30] John, V.M. Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. Tese (Livre Docência) – USP, São Paulo, 2000.
- [31] Kreith, F.; Manglik, Raj M.; Bohn, M. S. Principles of heat transfer. 7. ed. Stamford: Cengage Learning, 2011.

- [32] Bergman, Theodore L.; Lavine, Adrienne S.; Incropera, Frank P.; DEWITT, David P. Fundamentals of heat and mass transfer. 7. ed. Hoboken: Wiley, 2011.
- [33] Çengel, Y. A. Heat and mass transfer: a practical approach. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2006.

GLOSSÁRIO

A

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) - Metodologia normalizada (ISO 14040 e ISO 14044) utilizada para avaliar os impactos ambientais associados a todas as etapas do ciclo de vida de um produto, desde a extração da matéria-prima até ao descarte final.

Análise Comparativa - Método que visa comparar dois ou mais objectos (materiais, processos, tecnologias) sob critérios técnicos, económicos, ambientais ou funcionais, para identificar vantagens e desvantagens relativas.

Análise Económica do Ciclo de Vida - Avaliação que considera os custos totais de um sistema ou produto ao longo da sua vida útil, incluindo aquisição, operação, manutenção e descarte.

Agência Internacional de Energia (IEA) - Organização que produz estatísticas globais sobre consumo de energia, emissões e eficiência energética nos vários setores, incluindo a construção civil.

Análise Térmica - Processo de avaliação do comportamento de um material ou sistema em resposta à transferência de calor, focando no conforto térmico e eficiência energética.

B

Bloco Cerâmico - Elemento de alvenaria composto por argila ou barro, moldado e submetido à queima em altas temperaturas; caracteriza-se por elevada porosidade, leveza e bom isolamento térmico.

Bloco de Betão - Unidade de alvenaria pré-fabricada composta por cimento, areia, brita e água, com elevada densidade e resistência mecânica, amplamente usada em construções estruturais.

C

Condutividade Térmica - Propriedade física de um material que define sua capacidade de conduzir calor, materiais com baixa condutividade são melhores isolantes térmicos.

Confederação das Associações Económicas de Moçambique (CTA) - Entidade representativa do sector privado moçambicano, que publica indicadores económicos sectoriais, incluindo dados do sector da construção civil.

D

Desempenho Acústico - Capacidade de um material ou sistema constructivo de reduzir a transmissão de ruídos, fundamental para garantir conforto sonoro em ambientes internos.

Desempenho Térmico - Capacidade de um sistema constructivo de manter o equilíbrio térmico entre o ambiente interno e externo, minimizando ganhos ou perdas de calor.

E

Eficiência Energética - Utilização racional da energia para desempenhar determinada função com o menor consumo possível, sem comprometer o desempenho.

Emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE) - Gases como CO₂, CH₄ e N₂O que contribuem para o aquecimento global ao acumular-se na atmosfera e reter radiação infravermelha.

Environmental, Social and Governance (ESG) - Abordagem que integra critérios ambientais, sociais e de governança na gestão e avaliação de projectos, empresas e investimentos.

I

Impacto Ambiental - Efeito causado por actividades humanas no meio ambiente, tais como mudanças climáticas, poluição, uso de recursos e perda de biodiversidade.

M

Material Particulado (PM_{2,5}): Partículas finas em suspensão no ar com diâmetro inferior a 2,5 micrómetros, associadas a problemas respiratórios, geralmente medido em quilogramas de equivalente PM_{2,5}.

O

Organização Internacional para Normalização (ISO) - Organização responsável pela criação de normas técnicas internacionais, incluindo a série ISO 14000 para gestão ambiental e Avaliação do Ciclo de Vida.

P

Potencial de Aquecimento Global (GWP) - Impacto causado pelas emissões de gases de efeito estufa, expresso em quilogramas de CO_2 equivalente ($kg\ CO_2eq$), medindo o aquecimento global potencial em um horizonte temporal (geralmente 100 anos).

Potencial de Acidificação - Capacidade das emissões de causar acidificação do solo e águas, medida em quilogramas de sulfato equivalente ($kg\ SO_4^{2-}\ eq$).

Potencial de Depleção da Camada de Ozono - Impacto causado por substâncias que destroem a camada de ozono estratosférico, medido em quilogramas de CFC-11 equivalente ($kg\ CFC - 11\ eq$).

Potencial de Eutrofização - Medida do excesso de nutrientes em ambientes aquáticos ($kg\ N\ eq$) e terrestres ($kg\ PO_4^{3-}\ eq$), que levam ao desequilíbrio ecológico.

Potencial de Toxicidade Humana - Avaliação dos efeitos tóxicos sobre a saúde humana de emissões químicas, expressa em quilogramas de 1,4-dicloro-benzeno equivalente ($kg\ 1,4 - DCB\ eq$).

Potencial de Toxicidade Ecotoxicológica - Avaliação da toxicidade de substâncias químicas para ecossistemas aquáticos e terrestres, expressa em $kg\ 1,4 - DCB\ eq$.

R

ReCiPe - Método para avaliação de impactos ambientais que considera categorias intermediárias (midpoint) e finais (endpoint), utilizado no Simapro para análise ambiental detalhada.

S

Simapro - *Software* de Avaliação do Ciclo de Vida amplamente usado para modelar produtos e processos, quantificar impactos ambientais e produzir relatórios.

Simulação Computacional - Processo de replicação virtual de condições reais usando *softwares* especializados para prever o desempenho de sistemas físicos sob diferentes cenários.

T

Transferência de Calor - Movimento de energia térmica entre sistemas físicos por condução, convecção ou radiação.

U

Unidade Funcional - Medida quantitativa usada como referência para comparação em ACV, garantindo que os produtos ou processos sejam comparados com base na mesma função.

Uso da Terra - Impacto do uso ou modificação do solo sobre ecossistemas e biodiversidade, medido em metros quadrados por ano ($\text{m}^2 \cdot \text{ano}$).

APÊNDICES

APENDICE A. INVENTÁRIO DE PRODUÇÃO DO BLOCO CERÂMICO

Tabela 4 - . Inventário para produção do bloco cerâmico (Fonte: O Autor)¹

Produto	Quantidade	Unidade
Clay brick {RoW} clay brick production, extruded Cut-off, S	1	<i>kg</i>
Entradas		
Materiais/combustíveis	Quantidade	Unidade
Clay {RoW} market for clay Cut-off, S	1	<i>kg</i>
Tap water {RoW} market for tap water Cut-off, S	0,024305072	<i>kg</i>
Electricidade/calor	Quantidade	Unidade
Diesel, burned in building machine {GLO} market for diesel, burned in building machine Cut-off, S	0,0297	<i>MJ</i>
Electricity, medium voltage {RAF} market group for electricity, medium voltage Cut-off, S	0,001353222	<i>kWh</i>
Transport, freight, light commercial vehicle {RoW} market for transport, freight, light commercial vehicle Cut-off, S	0,05	<i>tkm</i>
Saídas		
Emissões para o ar	Quantidade	Unidade
Benzene	0,00000296	<i>kg</i>
Carbon dioxide, fossil	0,18	<i>kg</i>
Carbon monoxide, fossil	0,000391	<i>kg</i>
Nitrogen oxides	0,00026	<i>kg</i>
NM VOC, non-methane volatile organic compounds	0,0000763	<i>kg</i>
Particulates, < 2.5 um	0,000014	<i>kg</i>
Particulates, > 10 um	0,00000468	<i>kg</i>
Sulfur dioxide	0,0000998	<i>kg</i>
Water/m3, RoW	0,00001512	<i>m3</i>
Emissões para a água	Quantidade	Unidade
Water, RoW	0,00008568	<i>m3</i>

¹ Dados extraídos da Ecoinvent database versão 3.9 (2024), processados no SimaPro 9.6.0.1. Pré Sustainability B.V., Amersfoort, Países Baixos, adaptados ao contexto Moçambicano.

APENDICE B. INVENTÁRIO DE PRODUÇÃO DO BLOCO DE BETÃO

Tabela 5 - Inventário de Produção do Bloco de Betão (Fonte: O Autor)

Produto	Quantidade	Unidade
bloco de betão	1	<i>kg</i>
Entradas		
Materiais/combustíveis	Quantidade	Unidade
Cimento portland {MZ} produção de cimento portland	0,1667	<i>kg</i>
Gravel, crushed {RoW} market for gravel, crushed Cut-off, S	0,5	<i>kg</i>
Sand {RoW} market for sand Cut-off, S	0,3333	<i>kg</i>
Tap water {RoW} market for tap water Cut-off, S	0,011184	<i>kg</i>
Electricidade/Calor	Quantidade	Unidade
Diesel, burned in building machine {GLO} market for diesel, burned in building machine Cut-off, S	0,014668	<i>MJ</i>
Electricity, medium voltage {RAF} market group for electricity, medium voltage Cut-off, S	0,000143	<i>kWh</i>
Transport, freight, light commercial vehicle {RoW} market for transport, freight, light commercial vehicle Cut-off, S	0,05	<i>tkm</i>
Saídas		
Emissões para o ar	Quantidade	Unidade
Water/m3, RoW	$2,5 \cdot 10^{-5}$	<i>m3</i>
Benzene	$1,46 \cdot 10^{-6}$	<i>kg</i>
Carbon dioxide, fossil	0,0889	<i>kg</i>
Carbon monoxide, fossil	0,000193	<i>kg</i>
Nitrogen oxides	$1,28 \cdot 10^{-5}$	<i>kg</i>
NMVOC, non-methane volatile organic compounds, MZ	$3,77 \cdot 10^{-5}$	<i>kg</i>
Particulates, < 2.5 um	$6,91 \cdot 10^{-6}$	<i>kg</i>
Particulates, > 10 um	$2,31 \cdot 10^{-6}$	<i>kg</i>
Sulfur dioxide	$4,93 \cdot 10^{-5}$	<i>kg</i>
Emissões para o água	Quantidade	Unidade
Waste water/m3	$2,09 \cdot 10^{-5}$	<i>m3</i>

APENDICE C. Inventário de Produção do Clinquer

Tabela 6 - Inventário de Produção do Clinquer (Fonte: O Autor)

Produto	Quantidade	Unidade
Clinquer	1	kg
Entradas		
Materiais/combustíveis	Quantidade	Unidade
Calcareous marl {RoW} market for calcareous marl Cut-off, S	0,246691	kg
Clay {RoW} market for clay Cut-off, S	0,193568	kg
Iron ore, crude ore, 46% Fe {GLO} market for iron ore, crude ore, 46% Fe Cut-off, S	0,00378	kg
Limestone, crushed, for mill {RoW} market for limestone, crushed, for mill Cut-off, S	0,685528	kg
Natural gas, high pressure {RoW} market for natural gas, high pressure Cut-off, S	0,000115	m ³
Sand {RoW} market for sand Cut-off, S	0,007209	kg
Shale {GLO} market for shale Cut-off, S	0,000829	kg
Tap water {RoW} market for tap water Cut-off, S	0,183769	kg
Electricidade/calor	Quantidade	Unidade
Diesel, burned in building machine {GLO} market for diesel, burned in building machine Cut-off, S	0,007237	MJ
Electricity, medium voltage {MZ} market for electricity, medium voltage Cut-off, S	$5,92 \cdot 10^{-5}$	kWh
Transport, freight, light commercial vehicle {RoW} market for transport, freight, light commercial vehicle Cut-off, S	0,05	tkm
Saídas		
Emissões para o ar	Quantidade	Unidade
Ammonia	$2,23 \cdot 10^{-5}$	kg
Benzene	$1,27 \cdot 10^{-5}$	kg
Carbon dioxide, fossil	0,808588	kg
Carbon monoxide, fossil	0,000531	kg

Fluorene	$3,85 \cdot 10^{-5}$	<i>kg</i>
Methane, fossil	$8,39 \cdot 10^{-5}$	<i>kg</i>
Nitrogen oxides	0,001405	<i>kg</i>
NMVOC, non-methane volatile organic compounds	$4,98 \cdot 10^{-5}$	<i>kg</i>
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	$1,32 \cdot 10^{-5}$	<i>kg</i>
Sulfur dioxide	0,00036	<i>kg</i>
Water/m3, RoW	0,000199	<i>m3</i>
Emissões para água	Quantidade	Unidade
Water, RoW	0,00093	<i>m3</i>

APENDICE D. INVENTÁRIO DE PRODUÇÃO DO CIMENTO PORTLAND

Tabela 7 - Inventário de Produção do Cimento Portland (Fonte: O Autor)

Produto	Quantidade	Unidade
Cimento Portland	1	<i>kg</i>
Entradas		
Materiais/combustíveis	Quantidade	Unidade
Clinker {MZ} produção de clinker	0,95888	<i>kg</i>
Gypsum, mineral {RoW} market for gypsum, mineral Cutoff, S	0,048896	<i>kg</i>
Tap water {RoW} market for tap water Cut-off, S	$1,27 \cdot 10^{-5}$	<i>kg</i>
Electricidade/calor	Quantidade	Unidade
Electricity, medium voltage {MZ} market for electricity, medium voltage Cut-off, S	$4,04 \cdot 10^{-5}$	<i>kWh</i>
Transport, freight, light commercial vehicle {RoW} market for transport, freight, light commercial vehicle Cut-off, S	0,05	<i>tkm</i>
Saídas		
Emissões para o ar	Quantidade	Unidade
Heat, waste	0,102564	<i>MJ</i>
Water/m3, RoW	$1,64 \cdot 10^{-6}$	<i>m3</i>

APENDICE E. PROJEÇÕES DO BLOCO DE BETÃO

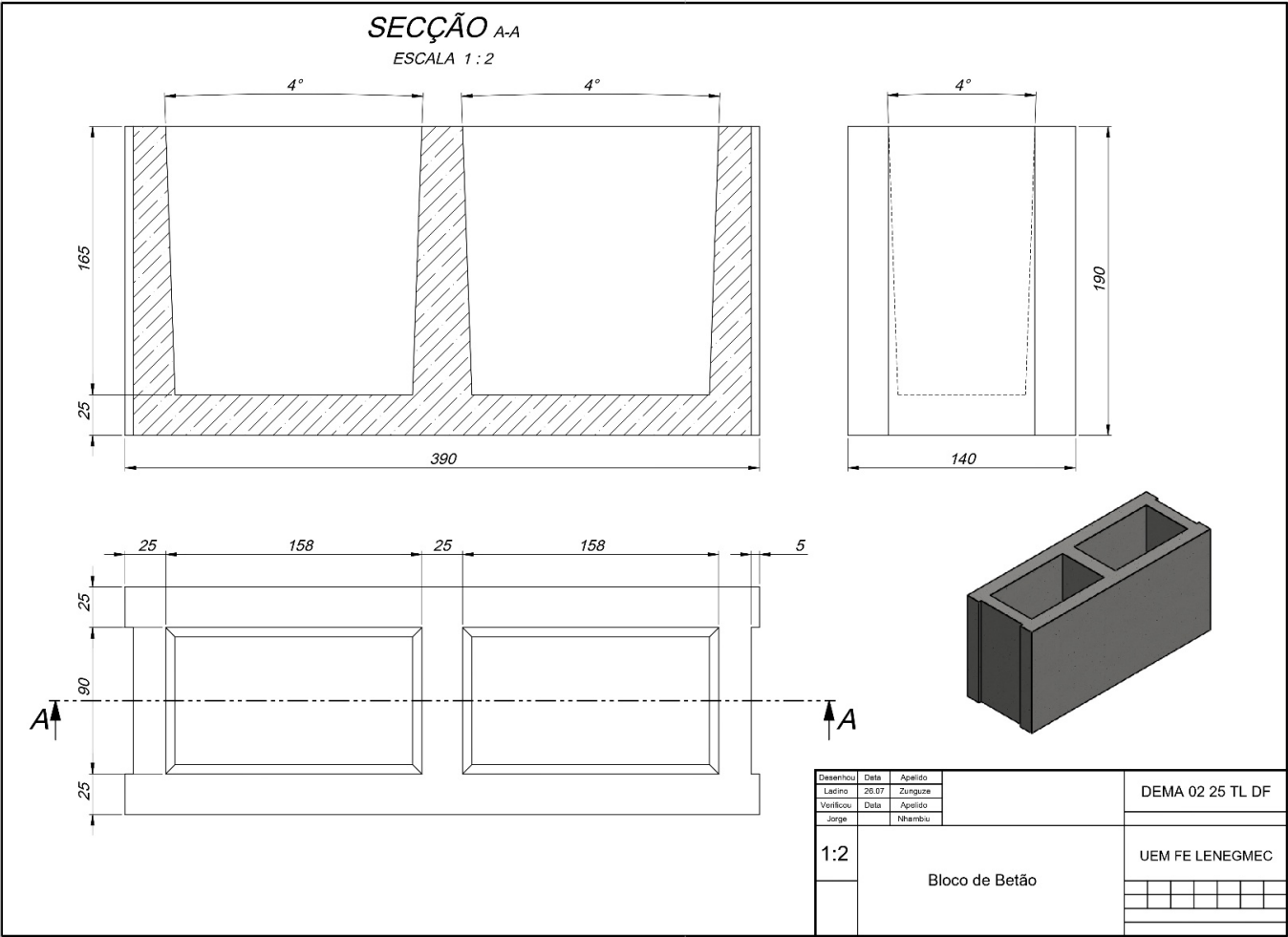


Figura 26 - Projeções do Bloco de Betão (Fonte: O Autor)

APENDICE F. PROJEÇÕES DO BLOCO DE CERÂMICO

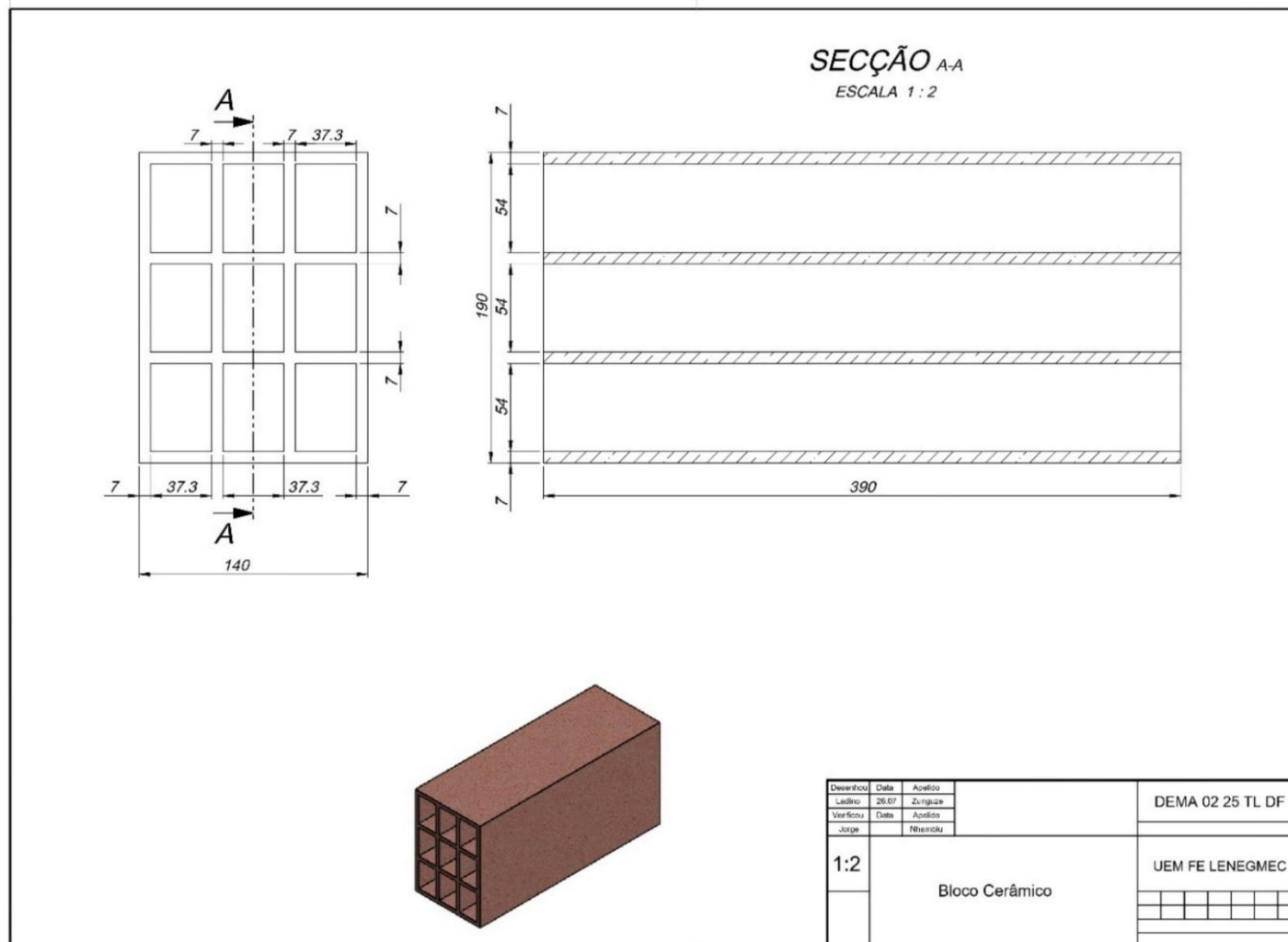


Figura 27 - Projeções do Bloco de Cerâmico (Fonte: O Autor)

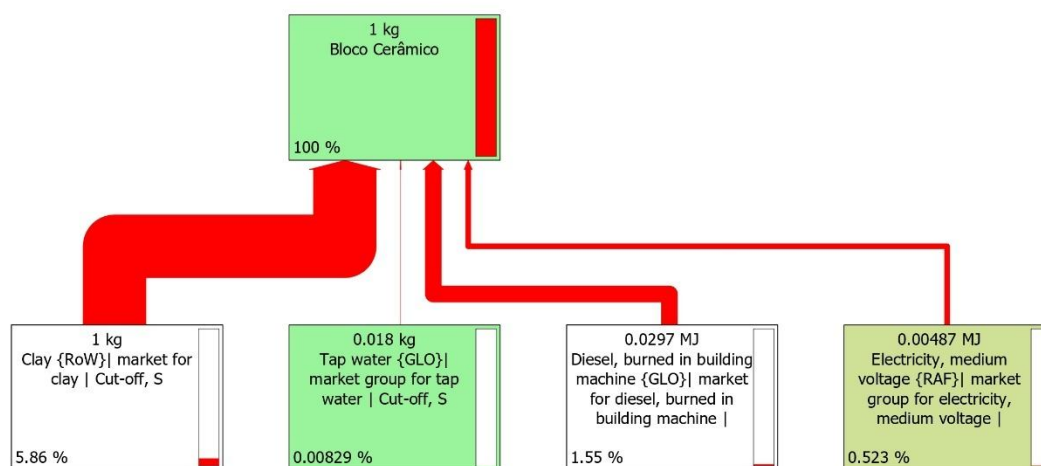
APENDICE G. ÁRVORE DO BLOCO DE CERÂMICA PARA A CATEGORIA DE AQUECIMENTO GLOBAL

SimaPro 9.6.0.1 Educational
Projecto: Bloco de construção

Rede

Data: 7/20/2025 Hora: 12:06:13 PM

Produto: Bloco Cerâmico
Projecto: Bloco de construção
Categoria: Material\Construction\Bricks\Transformation
Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.09 / World (2010) H
Indicador seleccionado: Caracterização, Global warming (kg CO2 eq)
Modo de indicador: Indicador acumulado
Excluir emissões de longo prazo N.º
Corte do nó: 0 %



Página: 1

Figura 28 - Árvore do Bloco de Cerâmica para a Categoria de Aquecimento Global (Fonte: O Autor)

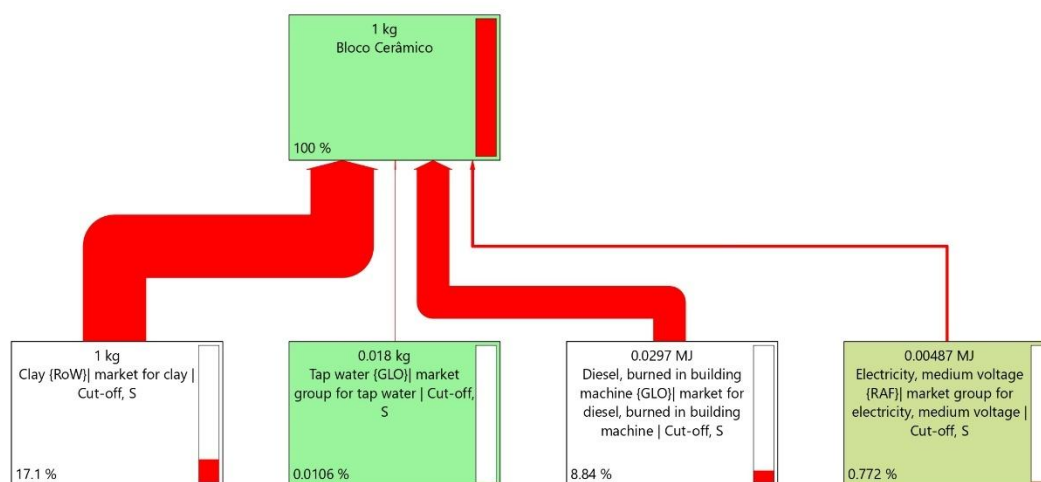
APENDICE H. ÁRVORE DO BLOCO DE CERÂMICA PARA A CATEGORIA DE FORMAÇÃO DO OZONO PARA A SAÚDE HUMANA

SimaPro 9.6.0.1 Educational
Projecto: Bloco de construção

Rede

Data: 7/20/2025 Hora: 12:08:03 PM

Produto: Bloco Cerâmico
Projecto: Bloco de construção
Categoria: Material\Construction\Bricks\Transformation
Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.09 / World (2010) H
Indicador seleccionado: Caracterização. Ozone formation. Human health (ka NOx ea)
Modo de indicador: Indicador acumulado
Excluir emissões de longo c N.º
Corte do nó: 0 %



Página: 1

Figura 29 - Árvore do Bloco de Cerâmica para a Categoria de Formação do Ozono para a Saúde Humana (Fonte: O Autor)

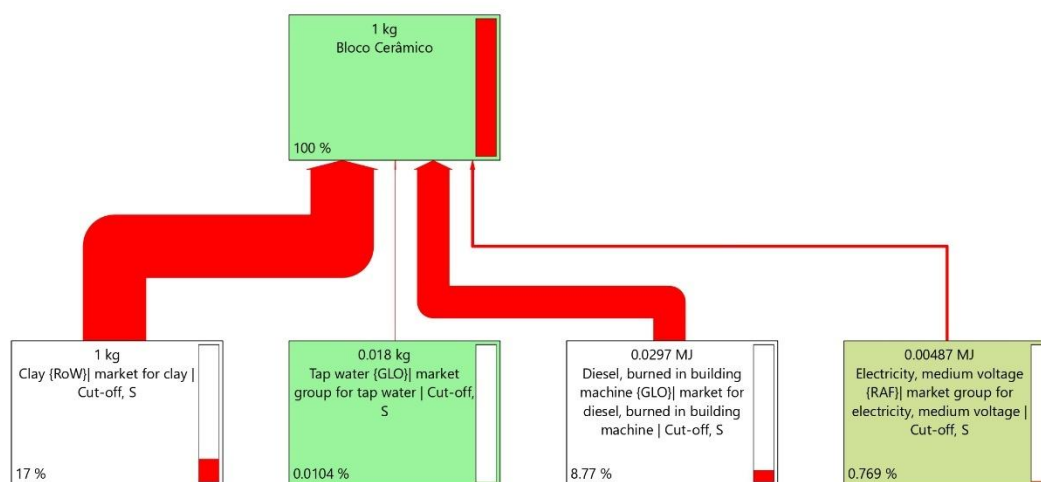
APENDICE I. ÁRVORE DO BLOCO DE CERÂMICA PARA A CATEGORIA DE FORMAÇÃO DO OZONO PARA O ECOSISTEMA TERRESTRE

SimaPro 9.6.0.1 Educational
Projecto: Bloco de construção

Rede

Data: 7/20/2025 Hora: 12:08:56 PM

Produto: Bloco Cerâmico
Projecto: Bloco de construção
Categoria: Material\Construction\Bricks\Transformation
Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.09 / World (2010) H
Indicador seleccionado: Caracterização. Ozone formation. Terrestrial ecosystems (kg NO_x eq)
Modo de indicador: Indicador acumulado
Excluir emissões de longo prazo: N.^o
Corte do nó: 0 %



Página: 1

Figura 30 - Árvore do Bloco de Cerâmica para a Categoria de Formação do Ozono para o Ecossistema Terrestre(Fonte: O Autor)

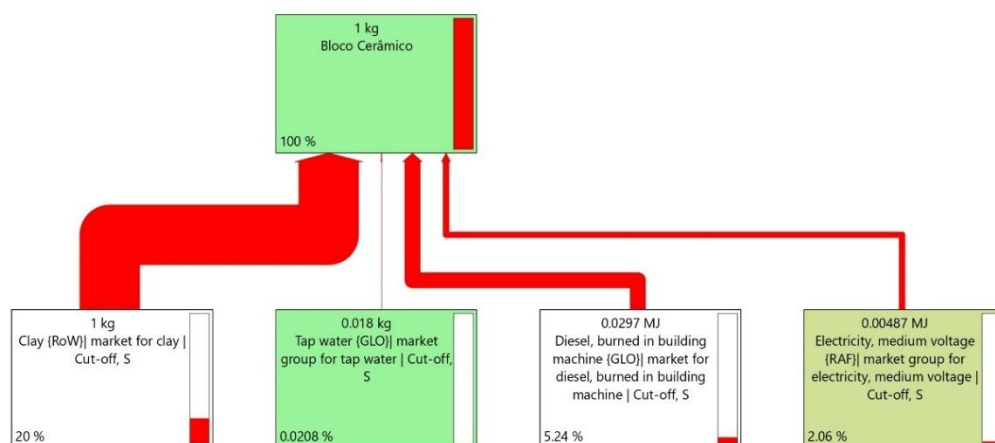
APENDICE J. ÁRVORE DO BLOCO DE CERÂMICA PARA A CATEGORIA DE ACIDIFICAÇÃO TERRESTRE

SimaPro 9.6.0.1 Educational
Projecto: Bloco de construção

Rede

Data: 7/20/2025 Hora: 12:09:35 PM

Produto: Bloco Cerâmico
Projecto: Bloco de construção
Categoria: Material\Construction\Bricks\Transformation
Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.09 / World (2010) H
Indicador seleccionado: Caracterização, Terrestrial acidification (ka SO2 eq)
Modo de indicador: Indicador acumulado
Excluir emissões de longo prazo: N.º
Corte do nó: 0 %



Página: 1

Figura 31 - Árvore do Bloco de Cerâmica para a Categoria de Acidificação Terrestre (Fonte: O Autor)

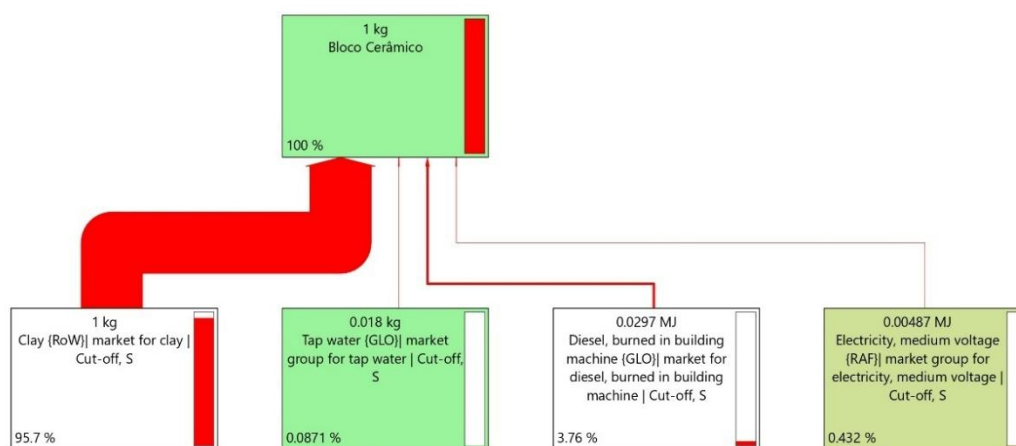
APENDICE K. ÁRVORE DO BLOCO DE CERÂMICA PARA A CATEGORIA DE ECOTOXICIDADE TERRESTRE

SimaPro 9.6.0.1 Educational
Projecto: Bloco de construção

Rede

Data: 7/20/2025 Hora: 12:11:04 PM

Produto: Bloco Cerâmico
Projecto: Bloco de construção
Categoria: Material\Construction\Bricks\Transformation
Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.09 / World (2010) H
Indicador seleccionado: Caracterização, Terrestrial ecotoxicity (kg 1.4-DCB)
Modo de indicador: Indicador acumulado
Excluir emissões de longo r: N.^o
Corte do nó: 0 %



Página: 1

Figura 32 - Árvore do Bloco de Cerâmica para a Categoria de Ecotoxicidade Terrestre (Fonte: O Autor)

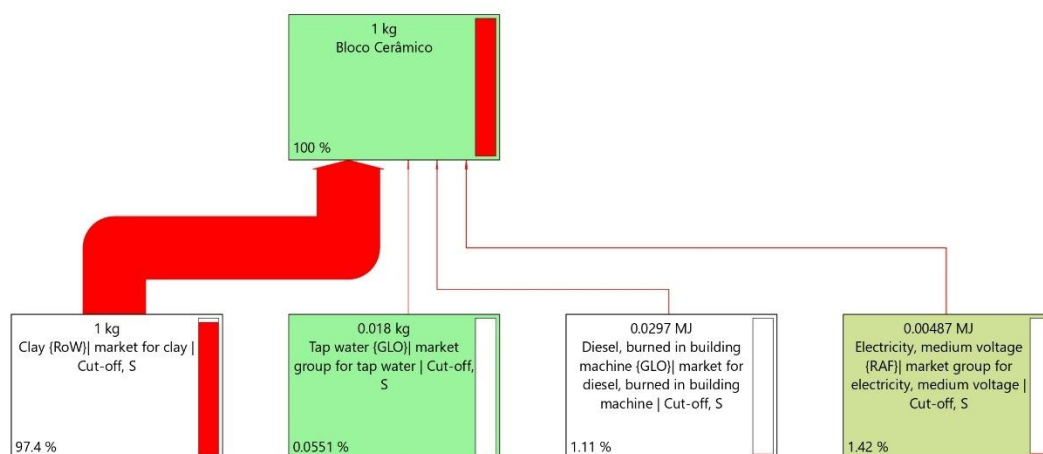
APENDICE L. ÁRVORE DO BLOCO DE CERÂMICA PARA A CATEGORIA DE ECOTOXICIDADE EM ÁGUA DOCE

SimaPro 9.6.0.1 Educational
 Projecto: Bloco de construção

Rede

Data: 7/20/2025 Hora: 12:11:45 PM

Produto: Bloco Cerâmico
 Projecto: Bloco de construção
 Categoria: Material\Construction\Bricks\Transformation
 Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.09 / World (2010) H
 Indicador seleccionado: Caracterização. Freshwater ecotoxicity (kg 1.4-DCB)
 Modo de indicador: Indicador acumulado
 Excluir emissões de longo prazo: N.º
 Corte do nó: 0 %



Página: 1

Figura 33 - Árvore do Bloco de Cerâmica para a Categoria de Ecotoxicidade em Água Doce (fonte: O Autor)

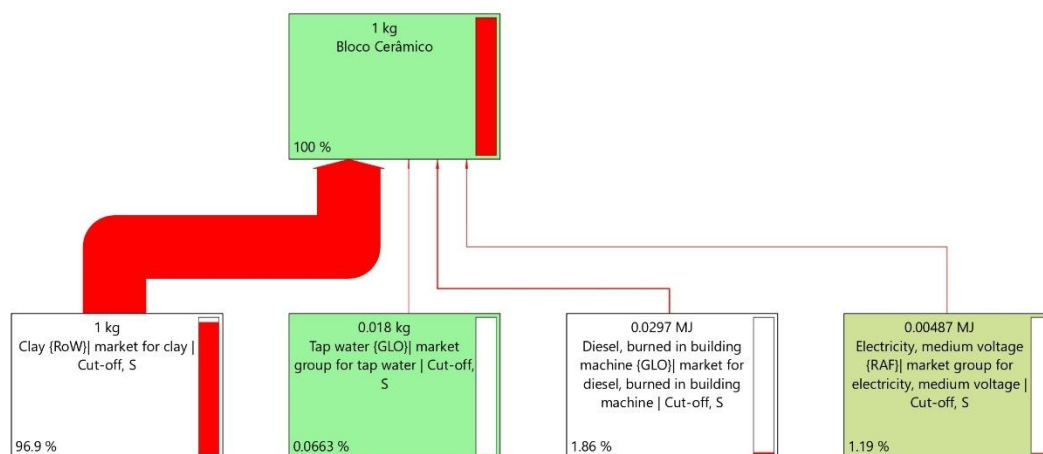
APENDICE M. ÁRVORE DO BLOCO DE CERÂMICO PARA A CATEGORIA DE ECOTOXICIDADE MARINHA

SimaPro 9.6.0.1 Educational
Projecto: Bloco de construção

Rede

Data: 7/20/2025 Hora: 12:12:17 PM

Produto: Bloco Cerâmico
Projecto: Bloco de construção
Categoria: Material\Construction\Bricks\Transformation
Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.09 / World (2010) H
Indicador seleccionado: Caracterização. Marine ecotoxicity (ka 1.4-DCB)
Modo de indicador: Indicador acumulado
Excluir emissões de longo prazo: N.º
Corte do nó: 0 %



Página: 1

Figura 34 - Árvore do Bloco de Cerâmico para a Categoria de Ecotoxicidade Marinha (Fonte O Autor)

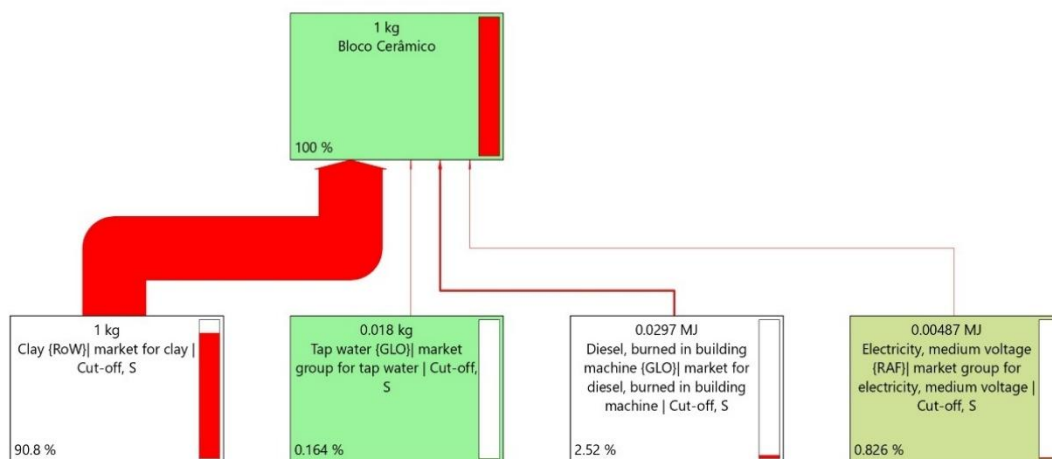
APENDICE N. ÁRVORE DO BLOCO DE CERÂMICO PARA A CATEGORIA DE TOXICIDADE TERRESTRE HUMANA

SimaPro 9.6.0.1 Educational
Projecto: Bloco de construção

Rede

Data: 7/20/2025 Hora: 12:13:11 PM

Produto: Bloco Cerâmico
Projecto: Bloco de construção
Categoria: Material\Construction\Bricks\Transformation
Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.09 / World (2010) H
Indicador seleccionado: Caracterização. Human carcinogenic toxicity (ka 1.4-DCB)
Modo de indicador: Indicador acumulado
Excluir emissões de longo prazo: N.º
Corte do nó: 0 %



Página: 1

Figura 35 - Árvore do Bloco de Cerâmico para a Categoria de Toxicidade Terrestre Humana (Fonte: O Autor)

APENDICE O. ÁRVORE DO BLOCO DE BETÃO PARA A CATEGORIA DE AQUECIMENTO GLOBAL

SimaPro 9.6.0.1 Educational
Projecto: Bloco de construção

Rede

Data: 7/20/2025 Hora: 12:17:42 PM

Produto: Bloco de Betão
Projecto: Bloco de construção
Categoria: Material\Construction\Concrete\Transformation
Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.09 / World (2010) H
Indicador seleccionado: Caracterização, Global warming (ka CO₂ eq)
Modo de indicador: Indicador acumulado
Excluir emissões de longo prazo: N.^o
Corte do nó: 0 %

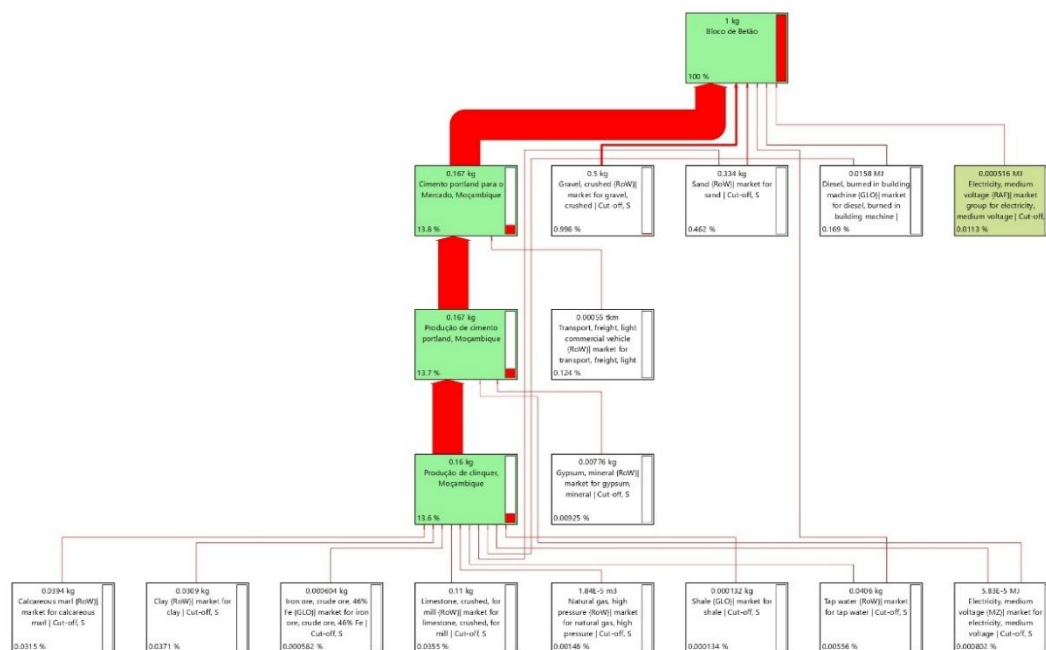


Figura 36 - Árvore do Bloco de Betão para a Categoria de Aquecimento Global (Fonte: O Autor)

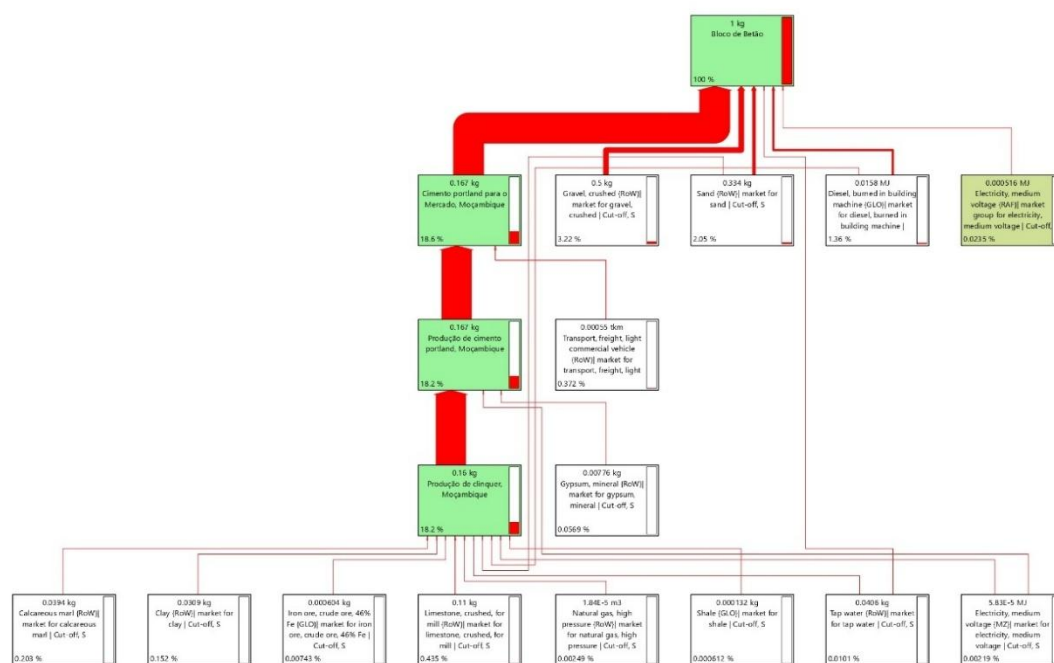
APENDICE P. ÁRVORE DO BLOCO DE BETÃO PARA A CATEGORIA DE FORMAÇÃO DO OZONO PARA A SAÚDE HUMANA

SimaPro 9.6.0.1 Educational
Projecto: Bloco de construção

Rede

Data: 7/20/2025 Hora: 12:18:50 PM

Produto: Bloco de Betão
Projecto: Bloco de construção
Categoria: Material\Construction\Concrete\Transformation
Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.09 / World (2010) H
Indicador seleccionado: Caracterização, Ozone formation, Human health (ka NOx eq)
Modo de indicador: Indicador acumulado
Excluir emissões de longo prazo: N.º
Corte do nó: 0 %



Página: 1

Figura 37 - . Árvore do Bloco de Betão para a Categoria de Formação do Ozono para a Saúde Humana (Fonte: O Autor)

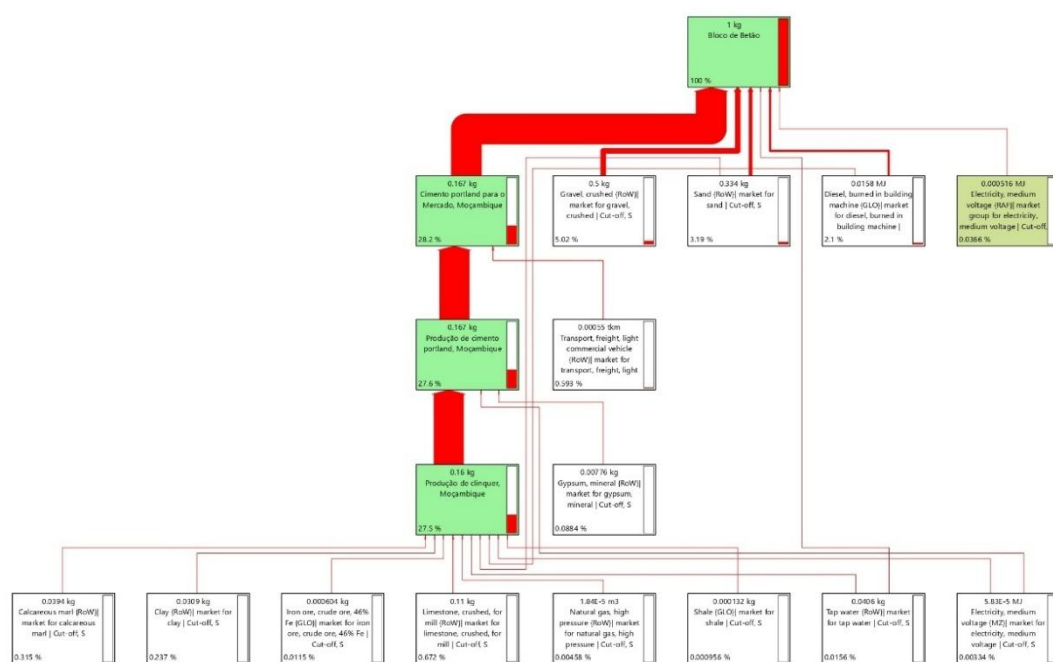
APENDICE Q. ÁRVORE DO BLOCO DE BETÃO PARA A CATEGORIA DE FORMAÇÃO DO OZONO PARA O ECOSISTEMA TERRESTRE

SimaPro 9.6.0.1 Educational
Projecto: Bloco de construção

Rede

Data: 7/20/2025 Hora: 12:19:22 PM

Produto: Bloco de Betão
Projecto: Bloco de construção
Categoria: Material\Construction\Concrete\Transformation
Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.09 / World (2010) H
Indicador seleccionado: Caracterização. Ozone formation. Terrestrial ecosystems (ka NOx ea)
Modo de indicador: Indicador acumulado
Excluir emissões de longo prazo: N.º
Corte do nó: 0 %



Página: 1

Figura 38 - Árvore do Bloco de Betão para a Categoria de Formação do Ozono para o Ecossistema Terrestre (Fonte: O Autor)

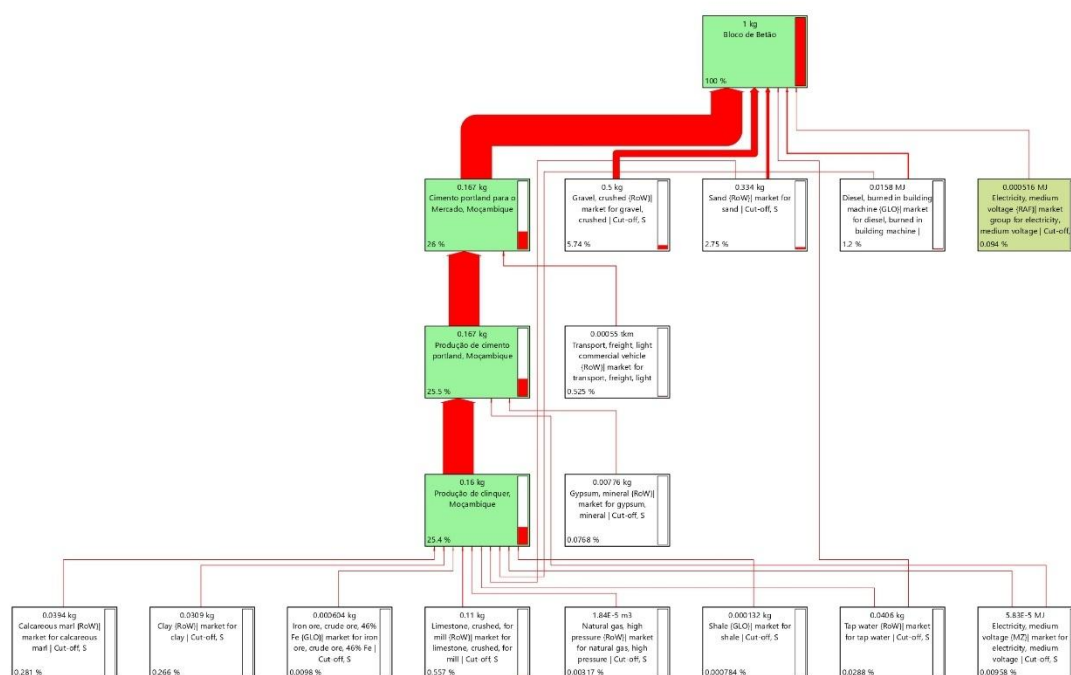
APENDICE R. ÁRVORE DO BLOCO DE BETÃO PARA A CATEGORIA DE ACIDIFICAÇÃO TERRESTRE

SimaPro 9.6.0.1 Educational
Projecto: Bloco de construção

Rede

Data: 7/20/2025 Hora: 12:19:51 PM

Produto: Bloco de Betão
Projecto: Bloco de construção
Categoria: Material\Construction\Concrete\Transformation
Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.09 / World (2010) H
Indicador seleccionado: Caracterização. Terrestrial acidification (ka SO2 eq)
Modo de indicador: Indicador acumulado
Excluir emissões de longo c N.º
Corte do nó: 0 %



Página: 1

Figura 39 - Árvore do Bloco de Betão para a Categoria de Acidificação Terrestre (Fonte: O Autor)

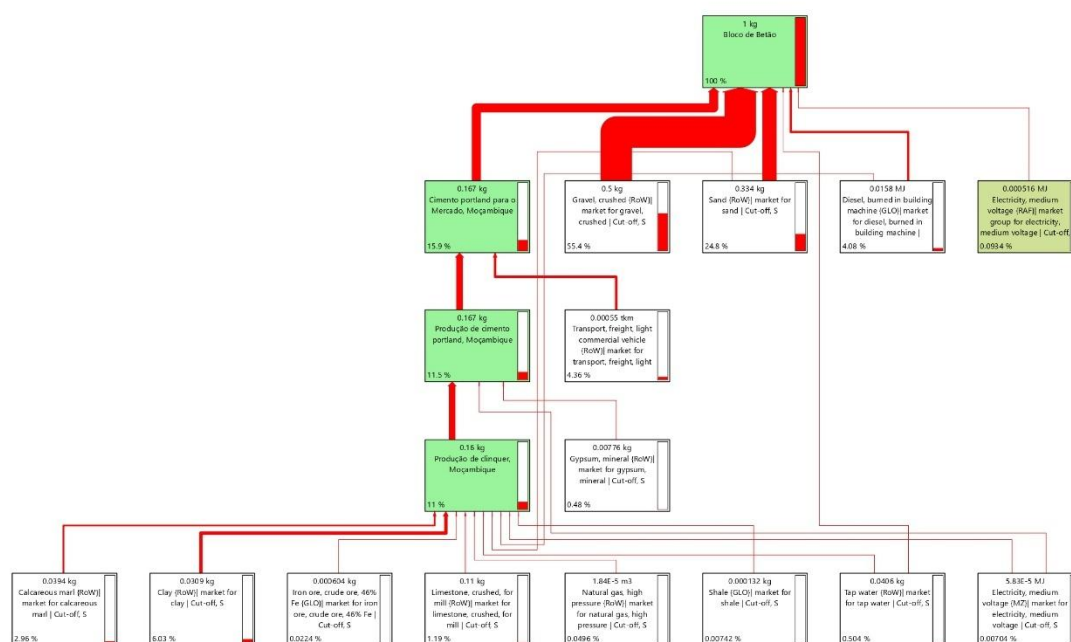
APENDICE S. ÁRVORE DO BLOCO DE BETÃO PARA A CATEGORIA DE ECOTOXICIDADE TERRESTRE

SimaPro 9.6.0.1 Educational
Projecto: Bloco de construção

Rede

Data: 7/20/2025 Hora: 12:20:53 PM

Produto: Bloco de Betão
Projecto: Bloco de construção
Categoria: Material\Construction\Concrete\Transformation
Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.09 / World (2010) H
Indicador seleccionado: Caracterização. Terrestrial ecotoxicity (kg 1.4-DCB)
Modo de indicador: Indicador acumulado
Excluir emissões de longo c N.º
Corte do nó: 0 %



Página: 1

Figura 40 - Árvore do Bloco de Betão para a Categoria de Ecotoxicidade Terrestre (Fonte: O Autor)

APENDICE T. ÁRVORE DO BLOCO DE CERÂMICA PARA A CATEGORIA DE ECOTOXICIDADE EM ÁGUA DOCE

SimaPro 9.6.0.1 Educational
 Projecto: Bloco de construção

Rede

Data: 7/20/2025 Hora: 12:21:27 PM

Produto: Bloco de Betão
 Projecto: Bloco de construção
 Categoria: Material\Construction\Concrete\Transformation
 Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.09 / World (2010) H
 Indicador seleccionado: Caracterização, Freshwater ecotoxicity (kg 1.4-DCB)
 Modo de indicador: Indicador acumulado
 Excluir emissões de longo c: N.º
 Corte do nó: 0 %

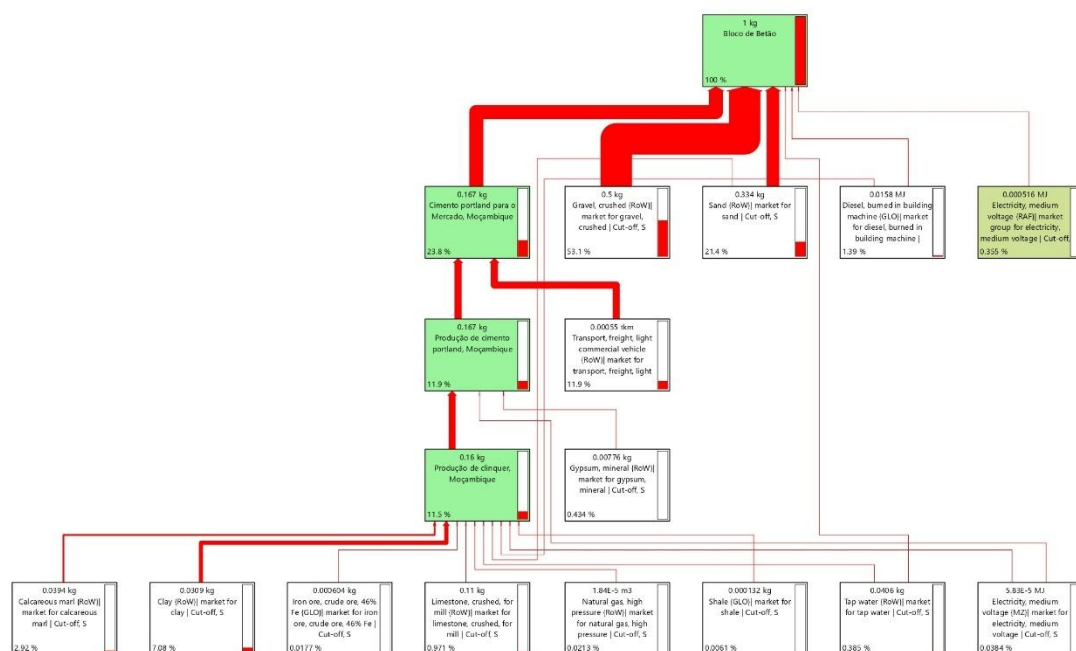


Figura 41 - Árvore do Bloco de Cerâmica para a Categoria de Ecotoxicidade em Água Doce (Fonte: O Autor)

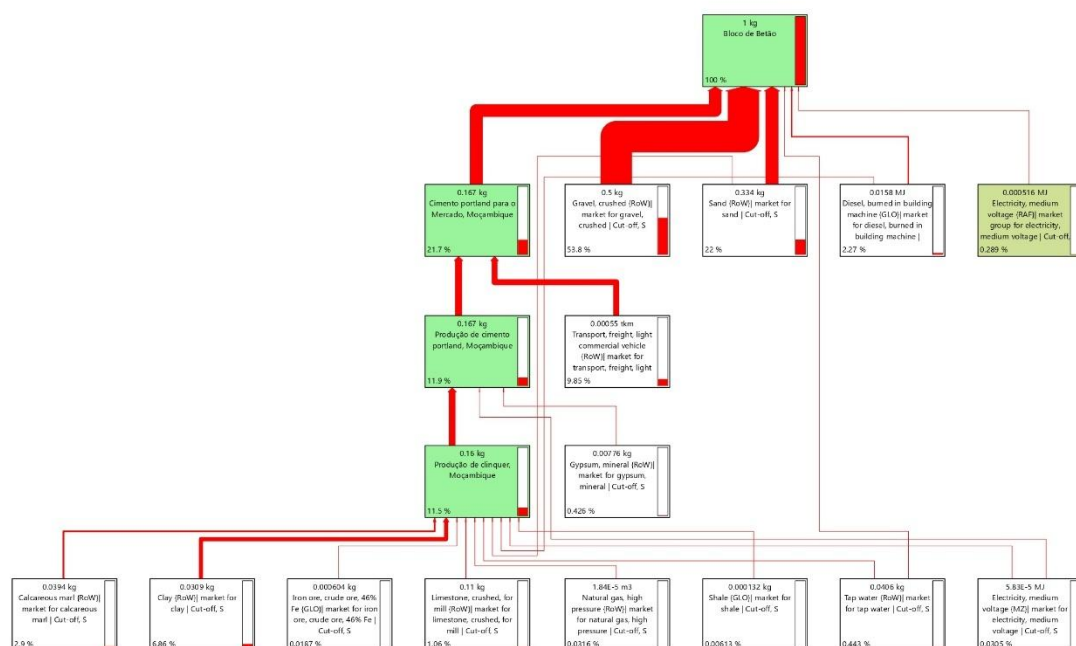
APENDICE U. ÁRVORE DO BLOCO DE BETÃO PARA A CATEGORIA DE ECOTOXICIDADE MARINHA

SimaPro 9.6.0.1 Educational
Projecto: Bloco de construção

Rede

Data: 7/20/2025 Hora: 12:21:55 PM

Produto: Bloco de Betão
Projecto: Bloco de construção
Categoria: Material\Construction\Concrete\Transformation
Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.09 / World (2010) H
Indicador seleccionado: Caracterização, Marine ecotoxicity (kg 1,4-DCB)
Modo de indicador: Indicador acumulado
Excluir emissões de longo c: N.º
Corte do nó: 0 %



Página: 1

Figura 42 - Árvore do Bloco de Betão para a Categoria de Ecotoxicidade Marinha (Fonte: O Autor)

APENDICE V. ÁRVORE DO BLOCO DE BETÃO PARA A CATEGORIA DE TOXICIDADE TERRESTRE HUMANA

SimaPro 9.6.0.1 Educational
Projecto: Bloco de construção

Rede

Data: 7/20/2025 Hora: 12:23:04 PM

Produto: Bloco de Betão
Projecto: Bloco de construção
Categoria: Material\Construction\Concrete\Transformation
Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.09 / World (2010) H
Indicador seleccionado: Caracterização, Human carcinogenicity (kg 1.4-DCB)
Modo de indicador: Indicador acumulado
Excluir emissões de longo c N.º
Corte do nó: 0 %

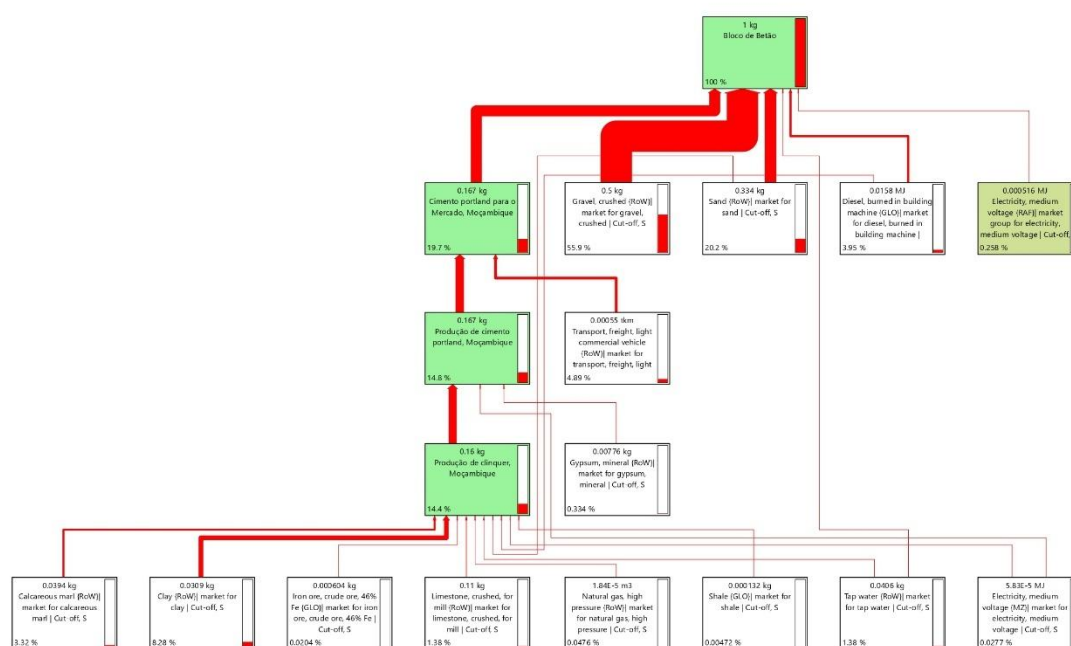


Figura 43 - Árvore do Bloco de Betão para a Categoria de Toxicidade Terrestre Humana (Fonte: O Autor)

APENDICE W. CIRCUITO DE RESISTÊNCIAS TÉRMICAS DO BLOCO DE BETÃO

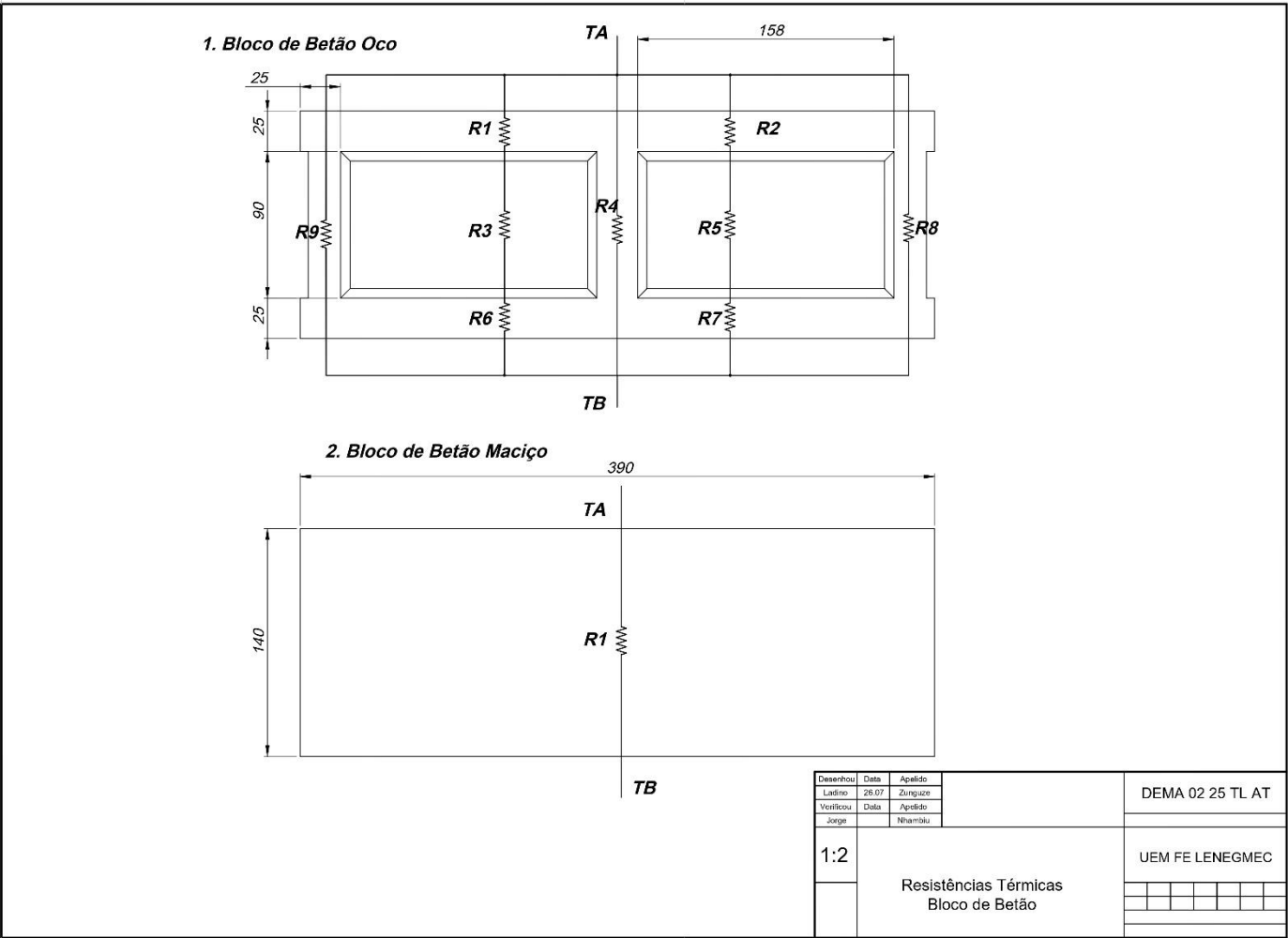


Figura 44 - Circuito de Resistências Térmicas do Bloco de Betão (Fonte: O Autor)

APENDICE X. CIRCUITO DE RESISTÊNCIAS TÉRMICAS DO BLOCO DE CERÂMICA

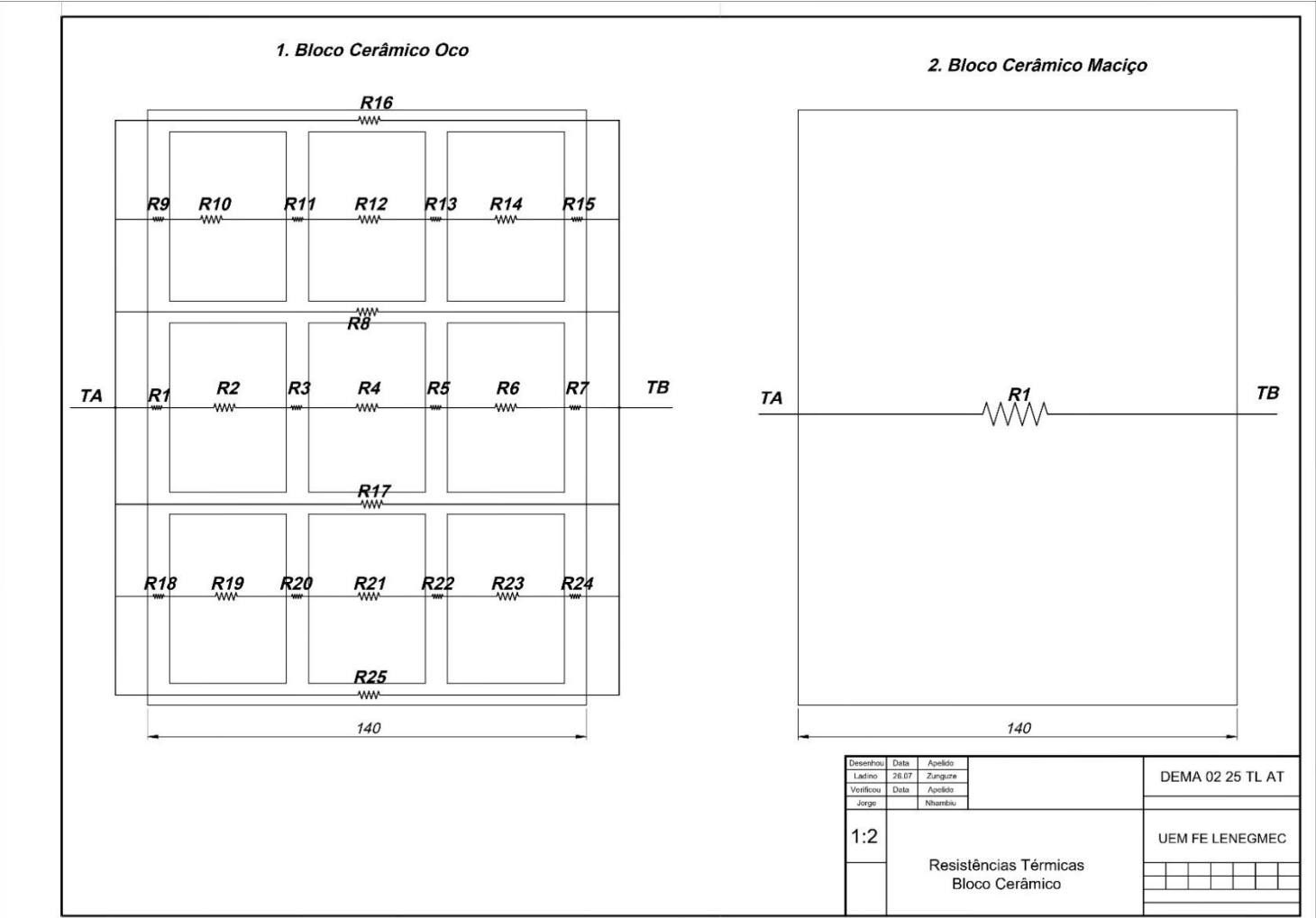


Figura 45 - . Circuito de Resistências Térmicas do Bloco de Cerâmica (Fonte: O Autor)