

Avaliação do Ciclo de Vida da fase operacional de elementos construtivos com recurso a uma ferramenta BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.20>

**Raquel Matos¹, Hugo Rodrigues²,
Aníbal Costa³, Fernanda Rodrigues⁴**

¹ RISCO, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Aveiro, <https://orcid.org/0000-0002-0171-7842>

² RISCO, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Aveiro, orcid.org/0000-0003-1373-4540

³ RISCO, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Aveiro, orcid.org/0000-0001-8950-4843

⁴ RISCO, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Aveiro, orcid.org/0000-0001-9127-7766

Resumo

A implementação da metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) na fase operacional de edifícios é ainda uma tarefa árdua e pouco explorada na literatura e na prática, devido à dificuldade de obter inventários completos dos componentes e dos processos que compõem as ações de manutenção dos elementos construtivos. A dificuldade na definição dos fluxos dos materiais e das fronteiras dos sistemas impedem também a realização de um estudo de impacto ambiental rigoroso. Desta forma, este trabalho tem como objetivo apresentar a implementação da ACV à fase operacional de um elemento construtivo. Para esse efeito, o *add-in* Tally para o Autodesk Revit será aplicado a um caso de estudo para efetuar a análise dos impactos ambientais de todo o ciclo de vida do elemento. Na análise serão consideradas as alternativas de substituição ou a manutenção do elemento de acordo com a sua vida útil. Este trabalho possibilita verificar indicadores ambientais resultantes das ações implementadas durante a vida útil do elemento construtivo, o que permite aos intervenientes do sector da construção, a tomada de decisão mais consciente para as três dimensões da sustentabilidade: social, económica e ambiental. No final será discutido o desempenho do software Tally aplicado à fase operacional do edifício, onde serão apresentadas as suas limitações.

1. Introdução

A gestão de edifícios é importante para o desenvolvimento sustentável no sector da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), uma vez que abrange as atividades inerentes à fase operacional do edifício. A gestão de edifícios inclui entre outras atividades, a gestão de manutenção, de risco, da limpeza dos ativos, segurança dos espaços, bem como também iniciativas na área da sustentabilidade. Para uma gestão de ativos mais sustentável é necessário adotar ferramentas e metodologias adequadas para o cálculo dos impactes ambientais das diversas fases do ciclo de vida dos edifícios, dos seus processos e materiais, como é o caso da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). O ACV é uma metodologia usada para o cálculo e previsão dos impactes ambientais de processos, materiais e componentes, desde o fabrico até ao final da sua vida útil e que contribui para a adoção de práticas mais sustentáveis do ponto de vista ambiental e económico [1]. É uma ferramenta que contribui para a identificação dos processos e materiais mais danosos para o ambiente e por isso possibilita a redução do consumo de recursos e da adoção de processos e materiais com menor impacte ambiental permitindo analisar as possíveis opções de fim de vida, como a reutilização, reparação ou reciclagem [2][3].

No entanto, de acordo com a revisão bibliográfica elaborada, a aplicação desta metodologia aos processos de manutenção dos sistemas construtivos dos edifícios é escassa. A sua aplicação à fase operacional dos edifícios foca-se, essencialmente, na análise do desempenho energético [4][5].

Este artigo tem como objetivo avaliar e comparar os impactes ambientais de ações de manutenção aplicadas durante a fase operacional de um sistema construtivo, através da implementação da metodologia ACV. Para esse efeito, este trabalho apresenta a aplicação do *add-in* Tally para o Autodesk Revit a um caso de estudo. A análise dos impactes ambientais inclui todo o ciclo de vida do elemento e as alternativas analisadas consideram a substituição ou a manutenção do elemento de acordo com a sua vida útil. Este trabalho possibilita estimar indicadores ambientais resultantes das ações implementadas durante a vida útil do elemento construtivo, o que permite aos intervenientes a tomada de decisão mais consciente.

2. Metodologia

Este estudo avalia e compara os impactes ambientais de três alternativas de ações de manutenção e de substituição da estrutura metálica de suporte o sistema de sombreamento das fachadas SE e NW do edifício do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro. As alternativas de soluções de intervenção na estrutura metálica do edifício propostas serão avaliadas através do Tally versão 2022.04.08.01, um *add-in* do Autodesk Revit versão 2022, usado na metodologia de ACV e cuja base de dados é a GaBi, desenvolvida pela Thinkstep [6];

Para concretizar o trabalho proposto, foi desenvolvida uma metodologia com os seguintes passos:

- 1) Análise do caso de estudo e modelação tridimensional.
- 2) Cálculo da vida útil da estrutura metálica de acordo com o método fatorial [7].
- 3) Recolha das ações de intervenção de acordo com indicações de empresas especializadas.
- 4) Cálculo da vida útil das tintas protetoras de estruturas metálicas.
- 5) Implementação da metodologia LCA [1][8], que inclui os seguintes passos:
 - a) Definição de objetivos e âmbito;
 - b) Análise de inventário;
 - c) Avaliação de impacto ambiental;
 - d) Interpretação de resultados.

Na secção seguinte apresenta-se a implementação da metodologia ao caso de estudo.

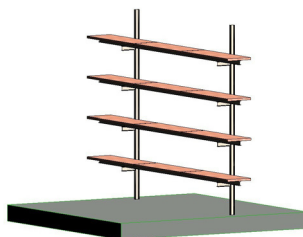
2.1. Caso de estudo

O caso de estudo é o edifício do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, em Aveiro, Portugal, da autoria do Arquiteto Souto Moura e construído em 1993. O edifício é composto por 4 pisos com planta retangular. As fachadas NE e SW são constituídas por betão armado à vista. As fachadas SE e NW contêm vãos envidraçados protegidos por um sistema de sombreamento composto por lâminas de mármore rosa apoiadas numa estrutura metálica. De acordo com o Projeto de Execução datado de Agosto de 1991, a estrutura é constituída por perfis IPE 80 de aço decapado e metalizado para suporte das lâminas de mármore da fachada, incluindo fixações e acessórios, de acordo com as especificações e pormenorização. A Figura 1 apresenta a imagem da fachada e a Figura 2 apresenta um detalhe do modelo tridimensional do sistema de sombreamento em estudo.



Figura 1
Estrutura metálica de suporte ao sistema de sombreamento de fachada.

Figura 2
Sistema de
sombreamento de
fachada em estudo.



2.2. Cálculo das vidas úteis

A primeira etapa considera o uso do método fatorial para calcular a vida útil estimada com base nas ações de manutenção propostas [7] e do método de cálculo apresentado na norma ISO 12944:2018 [9] para calcular a vida útil da pintura protetora da estrutura metálica proposta para as ações de manutenção a implementar. Este passo baseia-se nas duas soluções de manutenção propostas por empresas especializadas e na intervenção de substituição da estrutura para estabelecer a comparação.

Desta forma, as vidas úteis de referência e estimadas são as seguintes:

Vida útil atual da estrutura metálica em estudo.	29 A
Vida útil de referência do edifício [10].	50 A
Vida útil de referência da estrutura metálica em estudo [11].	30 A
Vida útil estimada da estrutura metálica sem aplicação de ação de manutenção. (Cenário S1)	28 A
Vida útil estimada da estrutura metálica com aplicação de uma ação de manutenção (com 1 demão de tinta protetora de 300 um). (Cenário S2)	56 A
Vida útil estimada (cálculo desde o início da vida do objeto) da estrutura metálica com aplicação de uma ação de manutenção com galvanização (com duas demãos de tinta protetora de 150 um). (Cenário S3)	46 A

Através da implementação das ações de manutenção é possível incrementar a vida útil do objeto de estudo em até 25 anos.

A Tabela 1 apresenta o mapa de quantidades do objeto de estudo a considerar nas simulações do ACV no software Tally.

Tabela 1: Mapa de quantidades do objeto em estudo.

Sistema de sombreamento	Unidade funcional	Quantidades
Estrutura metálica em IPE80	ml	2561,52
Laminas de mármore Rosa	ml	1723,80

2.3. Metodologia de avaliação do ciclo de vida

O objetivo do estudo é estabelecer a comparação entre os impactes ambientais de diferentes ações de manutenção e substituição de um elemento construtivo de fachada. A unidade funcional adotada foi o metro linear (ml) que representa 6 kg de IEP80. Esta unidade funcional foi escolhida para permitir a comparação entre diferentes estudos.

A vida útil do edifício considerada no Tally foi de 79 anos. A vida útil atual do edifício é de 29 anos e de acordo com a NP EN 1990: (2009) [10] a vida útil de referência para este tipo de edifício é de 50 anos, tempo considerado pela ação de beneficiação e reabilitação a ser executada num futuro próximo.

As condições fronteira do sistema estudado incluem todo o ciclo de vida do sistema de suporte, incluindo a produção do material, a construção, a utilização que inclui a manutenção, a reparação, a substituição, a remodelação e a energia operacional e o fim de vida.

As normas ISO aplicáveis ao desenvolvimento do LCA não especificam as categorias de impacto a avaliar ou os métodos de avaliação de impacto a utilizar. Neste estudo, o cálculo dos resultados é realizado pelo método TRACI, que permite quantificar e comparar os impactos ambientais e diferentes substâncias nas várias categorias de impacto. As categorias de impacto consideradas na análise do presente estudo são:

- Aquecimento global total (GWP) – Indicador de potencial de aquecimento global devido à soma das emissões totais de Gases Efeitos de Estufa para a atmosfera (medido em kg CO₂ equiv.);
- Acidificação – Indicador do potencial de acidificação de solos e água devido à liberação de gases como óxidos de azoto e óxidos de enxofre (medido em kg SO₂-equiv.); A acidez penetra no ciclo da água, provocando a chuva ácida, que diminui o pH do solo e a saturação de bases. Isto resulta na infertilidade do solo, que afeta a diversidade vegetal e todo o ecossistema oceânico.
- Eutrofização – Indicador do enriquecimento do ecossistema de água com elementos nutricionais, devido à emissão de compostos contendo azoto ou fósforo (medido em kg fosfato (PO₄-) equiv.);
- Potencial de formação de nevoeiro – Indicador da formação de nevoeiro numa determinada área e resulta sobretudo da queima de combustíveis fósseis (medido em kg O₃ equiv).
- Depleção da camada de ozono – A camada de ozono impede que os raios ultravioleta atinjam o solo, preservando a vida vegetal e oceânica e evitando impactos. Os buracos nesta camada podem causar danos à pele, animais, materiais de construção e outros problemas de saúde [12]. (medido em kg CFC-11-equivalentes)

O inventário do ciclo de vida recolhe toda a informação sobre os processos de produção, construção e manutenção (soldadura, transporte, recursos para o processo de galvanização, soluções de manutenção a empregar e respectivos recursos) das estruturas metálicas e sua manutenção. Dado a limitação de espaço do artigo, este item não será extensamente desenvolvido.

A Tabela 2 apresenta os cenários adotados para o estudo de ACV e a vida útil do edifício, o que significa que o sistema de construção deve cumprir a sua função pelo menos durante 79 anos. Este período foi considerado como o de referência nas simulações dos impactos ambientais.

Tabela 2: Cenários considerados.

Descrição	Vida útil estimada – cenários	Período considerado – Tally	Cenário
Estrutura metálica submetida a duas substituições.	28 A	79A	S1
Estrutura metálica submetida a 1 manutenção sem galvanização	56 A	79A	S2
Estrutura metálica submetida a 1 manutenção com galvanização	46 A	79A	S3

Parâmetros considerados:

- Energia de soldadura da construção no local
- Energia de soldadura das intervenções de manutenção
- Consumo de energia do processo de galvanização
- Consumo de água no processo de galvanização
- Transporte de produção
- Transporte de manutenção

2.4. Avaliação de impacto ambiental

As Tabelas 3 a 5 apresentam os resultados apresentados para cada indicador ambiental por fase de ciclo de vida incluído na ACV. A Tabela 6 apresenta uma comparação dos resultados obtidos nos cenários.

Tabela 3: Impactes ambientais por fase de ciclo de vida obtidos para o Cenário S1 – duas substituições.

Processos/ Fases	Produção [A1-A3]	Construção [A4-A5]	Utilização [B2-B5]	Fim de vida [C2-C4]
Aquecimento Global total [kg CO ₂ eq.]	29680	7622	0	26,98
Acidificação [kg SO ₂ eq.]	159,92	21,88	0	0,12492
Eutrofização [kg N eq.]	3,406	2,098	0	0,006322
Depleção da camada de ozono [kg CFC 11 eq.]	5,44 x 10 ⁻⁶	2,39 x 10 ⁻⁹	0	4,97 x 10 ⁻¹²
Potencial de formação de nevoeiro [kg O ₃ eq.]	767,4	537,2	0	2,476

Tabela 4: Impactes ambientais por fase de ciclo de vida obtidos para o Cenário S2 – manutenção sem galvanização.

Processos/ Fases	Produção [A1-A3]	Construção [A4-A5]	Utilização [B2-B5]	Fim de vida [C2-C4]
Aquecimento Global total [kg CO ₂ eq.]	22146	3276	27236	41,69
Acidificação [kg SO ₂ eq.]	89,76	8,466	40,56	0,1925
Eutrofização [kg N eq.]	3,036	0,8472	5,209	0,009762
Depleção da camada de ozono [kg CFC 11 eq.]	2,720 x 10 ⁻⁶	78 x 10 ⁻⁹	1,461x 10 ⁻⁸	7,670 x 10 ⁻¹²
Potencial de formação de nevoeiro [kg O ₃ eq.]	577,8	186,8	759,5	3,821

Tabela 5: Impactes ambientais por fase de ciclo de vida obtidos para o Cenário S3 – manutenção com galvanização

Processos/ Fases	Produção [A1-A3]	Construção [A4-A5]	Utilização [B2-B5]	Fim de vida [C2-C4]
Aquecimento Global total [kg CO ₂ eq.]	22146	3583	28974	41,69
Acidificação [kg SO ₂ eq.]	89,76	10,74	42,17	0,1925
Eutrofização [kg N eq.]	3,036	14,18	5,283	0,009762
Depleção da camada de ozono [kg CFC 11 eq.]	2,720 x 10 ⁻⁶	1,388 x 10 ⁻⁹	1,461x 10 ⁻⁸	7,670 x 10 ⁻¹²
Potencial de formação de nevoeiro [kg O ₃ eq.]	577,8	196,8	800,7	3,821

A Tabela 6 apresenta o resumo das comparações dos impactes ambientais entre os cenários S1, S2 e S3.

Tabela 6: Comparação dos resultados dos impactes ambientais entre cenários

	Aquecimento Global total [kg CO ₂ eq.]	Acidificação [kg SO ₂ eq.]	Eutrofização [kg N eq.]	Depleção da camada de ozono [kg CFC 11 eq.]	Potencial para Nevoeiro [kg O ₃ eq.]
S1-S3	46,65%	-21,47%	308,48%	-49,73%	20,81%
S1-S2	41,18%	-23,61%	65,18%	-48,32%	16,90%
S2-S3	3,88%	2,79%	147,30%	-2,72%	3,35%

As Tabelas 3 a 6 permitem verificar o aumento dos impactes ambientais na fase de utilização ao longo dos cenários, nomeadamente para o Potencial de Aquecimento Global total, o Potencial de Eutrofização e o Potencial de formação de nevoeiro. O Cenário S3 inclui um maior consumo de energia para os processos de reparação e galvanização do aço e envolve mais emissões provenientes da soldadura e da galvanização, o que justifica o aumento significativo do Potencial de Aquecimento Global total e do Potencial de formação de nevoeiro. Os processos de manutenção, reparação e galvanização do aço geram águas residuais que contêm contaminantes como óleos, gorduras e metais nocivos para os ecossistemas aquáticos, se não forem corretamente geridos, o que justifica o aumento da eutrofização, o que está de acordo com [13].

As Tabelas 3 a 6 mostram o aumento dos impactes ambientais para as fases de Utilização e Fim de Vida com a implementação das atividades de manutenção ao longo da vida útil do sistema em estudo. No entanto, as desvantagens e limitações do software da metodologia BIM, Tally, permitem justificar que o estudo não é apropriado para os fins deste trabalho, pelo seguinte:

O Tally não permite a edição de ações de manutenção. Permite adicionar uma camada de acabamento à estrutura predefinida pelo software, que não pode ser editada. Para além disso, não permite editar o número de camadas de tinta protetora. Na

realidade, as ações de manutenção propostas neste estudo de caso envolvem três camadas de pintura diferentes, mas apenas foi adicionada uma.

Também não permite adicionar novos processos durante o ciclo de vida do sistema, como por exemplo o processo de galvanização. O processo de galvanização foi adicionado ao software através dos recursos editáveis nos domínios da construção e da exploração, através dos recursos água, calor e energia.

Uma vez que apenas é possível adicionar uma camada de manutenção à estrutura, os impactes ambientais para as fases de utilização e fim de vida não traduziram exatamente os resultados reais destas fases para a operação e fim de vida.

Assim, é possível inferir que o software de modelação BIM necessita de ajustes no seu layout e método de cálculo, para testar a inclusão de ações de manutenção ao longo do ciclo de vida dos edifícios. Por outro lado, o Tally é bastante expedito, uma vez que a estrutura, se devidamente modelada, inclui automaticamente o seu processo de produção na metodologia de ACV, sem necessidade de retirar quantidades de material. Este software é também bastante útil na tomada de decisão e escolha componentes/elementos menos onerosos para o ambiente aplicados às fases de produção e construção de edifícios.

3. Conclusões

Como ferramenta de apoio na reabilitação e manutenção de edifícios existentes, a ACV pode ser aplicada por projetistas e decisores para definir e desenvolver estratégias e soluções para edifícios mais sustentáveis. A análise da ACV foi efetuada para avaliar os impactes ambientais de diferentes cenários para o sector da construção. O caso em estudo é a estrutura metálica exposta que suporta um sistema de sombreamento do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro. O estudo envolve a análise do impacte ambiental de três cenários através da metodologia de ACV. As alternativas incluem a substituição de todas as estruturas metálicas e a reparação da estrutura metálica com soluções propostas por duas empresas. A análise foi efetuada através de um software da metodologia BIM: Tally. As categorias ambientais consideradas foram o Aquecimento global total, a Acidificação, a Eutrofização, o Potencial de formação de nevoeiro e o Depleção da camada de Ozono.

Os resultados obtidos a partir das três simulações mostraram o aumento dos impactes ambientais para os cenários que incluem soluções de manutenção e reparação. A implementação das ações de manutenção é benéfica apenas para a depleção da camada de ozono, uma vez que de acordo com a literatura e com os resultados das simulações, os produtos químicos e processos envolvidos nas ações de manutenção e reparação consideradas não são substâncias com impacto significativo na camada de ozono.

Este estudo permite constatar que, embora a manutenção aumente ligeiramente os impactes ambientais, ela permite prolongar a vida útil da estrutura e preserva a

componente arquitetónica e cultural. Ainda assim, as ações de manutenção permitem reduzir o consumo de recursos e evitar o aumento de resíduos.

As pinturas (poliuretano, poliéster e epóxi) consideradas na manutenção e o processo de decapagem e galvanização, têm um forte impacto ambiental, pelo que é possível concluir que, apesar de permitir um prolongamento da vida útil, é também necessário adotar processos de manutenção de estruturas metálicas menos prejudiciais para o ambiente. Assim, este estudo permite evidenciar estes pontos críticos para que no futuro seja possível colmatá-los.

Além disso, é possível concluir que o Tally, apesar de integrado à ferramenta BIM e de ser um software expedito na implementação da metodologia ACV, possui limitações aquando aplicado à fase de operação dos edifícios, uma vez que não permite adicionar nem editar os processos de manutenção e reparação dos objetos, o que impede de obter um resultado fiável dos impactos ambientais associados a vários cenários de manutenção e reparação reais.

Agradecimentos

O estudo realizado foi realizado ao abrigo de uma bolsa de doutoramento concedida à primeira autora com a referência SFRH/BD/147532/2019 com financiamento participado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) e pelo Fundo Social Europeu e por fundos nacionais do MCTES.

Referências

- [1] BS EN ISO 14040:2006, “BSI British Standard - ‘Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework,’” vol. 3, no. 1. 2006.
- [2] S. Proietti, P. Sdringola, U. Desideri, F. Zepparelli, F. Masciarelli, and F. Castellani, “Life Cycle Assessment of a passive house in a seismic temperate zone,” *Energy Build.*, vol. 64, pp. 463-472, 2013, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.05.013.
- [3] Simapro, “Simapro - Complementing The Circular Economy With Life Cycle Assessment.” 2015, [Online]. Disponível: <https://simapro.com/2015/circular-economy-and-life-cycle-assessment/>.
- [4] S. B. Nielsen, A. L. Sarasoja, and K. R. Galamba, “Sustainability in facilities management: an overview of current research,” *Facilities*, vol. 34, no. 9-10, pp. 535-563, 2016, doi: 10.1108/F-07-2014-0060.
- [5] E. Maslesa, P.A. Jensen, and M. Birkved, “Indicators for quantifying environmental building performance: A systematic literature review,” *J. Build. Eng.*, vol. 19, no. March, pp. 552-560, 2018, doi: 10.1016/j.job.2018.06.006.
- [6] Building Transparency, “ChooseTally – ‘Tally Database .’” 2023.

- [7] ISO 15686-1, "International Organization for Standardization - ISO 15686-1:2011(en) – Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 1: General principles and framework," vol. 2011. 2011.
- [8] BS EN 15978:2011, "BSI Standards Publication 'Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method,'" no. November. 2011.
- [9] ISO 12944, "ISO 12944 – Corrosion Protection of Steel Structures by Protective Paint Systems," 2018.
- [10] NP EN 1990: 2009, "Norma Portuguesa – Eurocódigo 0 – Bases para o projeto de estruturas," Inst. Port. da Qual., vol. 1999, 2009.
- [11] CIB W80, n.a 'CIB W80 Prediction of Service Life of Building Materials and Components.' – *International Council for Research and Innovation in Building and Construction*
- [12] H. Matthews, C. Hendrickson, and D. Matthews, *Life Cycle Assessment: Quantitative Approaches for Decisions that Matter*, vol. 13, no. 1. Open access textbook retrieved from <https://www.lcatextbook.com/>, 2014.
- [13] K. Aljundi, "Is BIM an effective methodology to integrate LCA in the buildings' design?" Tese de Mestrado apresentada à Universidade de Aveiro, Aveiro, 2017.