



Instituto Superior de Engenharia

Politécnico de Coimbra

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E
BIOLÓGICA

Análise do Ciclo de Vida do Ativo de Captação de Água de Fervença, com Ênfase na Vertente do Consumo Energético.

Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia e Gestão de Ativos Físicos

Autor

Tonny Javier Ramalho Mendes

Orientador

Professor Doutor José Manuel Torres Farinha

Co-Orientador

Professor Doutor Hugo David Nogueira Raposo

Professor Doutor Mateus Daniel Almeida Mendes



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

Coimbra, Dezembro 2023

Dedico este trabalho aos meus pais, com especial a minha mãe por todos os valores que forneceu ao longo da sua vida, e contribuíram para o que sou hoje.

"Os rios não bebem a sua própria água; as árvores não comem seus próprios frutos. O sol não brilha para si mesmo; e as flores não espalham sua fragrância para si. Viver para os outros é uma regra da natureza. (...)

A vida é boa quando você está feliz; mas a vida é muito melhor quando os outros estão felizes por sua causa".

(Papa Francisco)

RESUMO

A finalidade deste projeto é a avaliação do ciclo de vida (ISO 55001) das eletrobombas de captação e pressurização de água potável, consolidado com o risco de inoperacionalidade (ISO 31000) e consumo energético (ISO 50001) ao longo da vida útil dos equipamentos.

Pretende-se avaliar o ciclo de vida do investimento até à presente data e, a partir dos resultados obtidos, fazer extrapolações referentes ao ciclo de vida remanescente. Esta análise tem em consideração investimentos alternativos, com apreciação dos custos de funcionamento, de manutenção e de energia que permitam maximizar os resultados operacionais da INOVA – Empresa de Desenvolvimento Económico e Social de Cantanhede, EM.SA, bem como a máxima satisfação dos consumidores da Empresa.

Como caso de estudo serão usados os equipamentos da captação de água em Fervença, concelho de Cantanhede, a qual alimenta todo o concelho de Cantanhede, através do bombeamento da água, deste a captação até reservatórios elevados, nomeadamente nas regiões da Fontinha, Lemede e Tocha, permitindo, em determinados pontos, a alimentação das habitações através de gravidade. Os equipamentos em estudo pertencem à INOVA, tendo suportado o presente projeto o Eng.º Samuel Martinho e a Dr.ª Ana Silva.

No presente projeto são ainda abordados alguns pontos de como deve ser construído um furo de captação de água e a sua constituição.

O objetivo final é conhecer o Ciclo de Vida do equipamento de captação e identificar antecipadamente qual o ano mais adequado para uma intervenção de manutenção de nível cinco e ou uma renovação destes ativos.

Adicionalmente, pretende-se demonstrar o caminho para a melhoria dos sistemas hidráulicos, monitorizando o funcionamento, controlando a quantidade de fluído bombeado *versus* energia consumida, visando tornar os sistemas de captação e bombeamento mais eficientes, prolongando a curva da vida útil dos equipamentos.

Palavras-Chave: Análise de Ciclo de vida; Análise de Investimento; Energia; ISO 31000; ISO 5500X; Manutenção.

ABSTRACT

The purpose of this study is the life cycle assessment (ISO 55001) of the electric pumps for the abstraction and pressurisation of drinking water, consolidated with the risk of inoperability (ISO 31000) and energy consumption (ISO 50001) throughout the useful life of the equipment.

The aim is to assess the life cycle of the investment to date and, from the results obtained, to make extrapolations regarding the remaining life cycle. This analysis takes into consideration alternative investments, with appreciation of the operational, maintenance and energy costs that allow maximising the operational results of INOVA - Empresa de Desenvolvimento Económico e Social de Cantanhede, EM.SA, as well as the maximum satisfaction of the Company's consumers.

As a case study, we will use the equipment of the water catchment in Fervença, Cantanhede, which feeds the entire municipality of Cantanhede, by pumping water from the catchment to reservoirs, particularly in regions of Fontinha, Lemede and Tocha, allowing, at certain points, the supply of homes through gravity. The equipment under study belongs to INOVA, and the present project was supported by Samuel Martinho and Ana Silva.

This project also covers a few points about how a water borehole should be built and how it should be constituted.

The ultimate goal is to understand the Life Cycle of the collection equipment and identify in advance the most suitable year for a level five maintenance intervention and/or a renewal of these assets.

As a result of this study, it is intended to demonstrate the way to improve hydraulic systems by monitoring operation, controlling the amount of fluid pumped versus energy consumed, with a view to making the capture and pumping systems more efficient, prolonging the useful life curve of the equipment.

Keywords: Life Cycle Analysis; Investment Analysis; Energy; ISO 31000; ISO 5500X; Maintenance.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradecer ao meu pai pelo exemplo de Homem, Humildade e Coragem para lutar pelos nossos objetivos e sonhos, aos meus irmãos por toda a irmandade prestada, o carinho, ajuda e força. Em especial a Inês Lopes, pela paciência, compreensão, amor, ternura e ponto de abrigo, durante a execução deste trabalho.

Ao Professor Doutor Torres Farinha, ao Professor Doutor Hugo Raposo e ao Professor Doutor Mateus Mendes, por toda a partilha de conhecimento, pelo incentivo e motivação, por toda a paciência e dedicação semana após semana até a conclusão deste projeto.

Aos meus colegas do MEGAF pela partilha, troca de ideias e conhecimentos. Em especial à Ana Patrícia pela dedicação, entreaajuda e aventura, durante o desenrolar deste estudo.

Aos meus amigos que direta ou indiretamente contribuíram para o meu crescimento e sucesso académico.

A equipa da MAGAL – Sistemas de Bombeamento, pela compreensão, motivação e contribuição de conhecimentos.

O meu muito Obrigado a todos estes e aqueles que não foram mencionados, mas que contribuíram para a conclusão deste projeto.

Índice

Resumo	II
Abstract.....	III
Agradecimentos	IV
Acrónimos e Simbologia	X
1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Metodologia e Questões de Investigação.....	2
1.4 Estrutura.....	3
2 Caracterização da Empresa.....	4
2.1 Inova, EM.....	4
2.2 Central de Captação e Bombeamento em Fervença	6
3 Estado da Arte.....	10
3.1 Gestão do Ciclo de Vida dos Ativos Físicos	10
3.2 Regulamentação de um Sistema de Gestão de Energia	12
3.3 Modelos Econométricos.....	21
3.3.1 Método Linear Depreciação	21
3.3.2 Método Soma de Dígitos	22
3.3.3 Método Exponencial	23
3.3.4 Método da Renda Anual Uniforme.....	24
3.3.5 Método de Minimização do Custo Médio Total	25
3.3.6 Método de MCMT com Redução do Valor Presente	26
3.3.7 Método Custo anual Uniforme	26
3.3.8 Ciclo de Vida de Investimento	27

3.3.9	Retorno do Investimento (ROI).....	29
4	Caso de Estudo.....	30
4.1	Modelos de Substituição.....	30
4.1.1	Depreciação do Valor do Ativo	31
4.1.2	Modelos de Substituição – Taxa Aparente Constante.....	34
4.1.3	Modelos de Substituição – Taxa Aparente Anual.....	37
4.1.4	Modelos de substituição – Taxa Aparente Constante com Incremento do Investimento no Ativo.....	39
4.1.5	Modelos de Substituição – Taxa Aparente Anual com Incremento do Investimento no Ativo.....	41
4.2	Análise através do Indicador Financeiro - ROI	44
4.2.1	Cálculo do ROI com uma Taxa Aparente Fixa	44
4.2.2	Cálculo do ROI com uma Taxa Aparente Anual	46
5	Conclusão.....	49
	Bibliografia	51
	Anexos A – Artigo Apresentado no Congresso da Água 2023	53
	Anexos B – Artigo Aceite para Publicação	55

Índice de Figuras

Figura 1 - Estrutura de Captação e Distribuição de água no Concelho de Cantanhede (https://www.inova-em.pt/servicos/abastecimento_agua/ 27/01/2023)	5
Figura 2 - Ciclo Hidrológico Simplificado (Ferreira, J.:2012))	6
Figura 3 - Classificação dos aquíferos quanto ao tipo de permeabilidade (Ferreira, J.:2012) ..	7
Figura 4 - Classificação dos aquíferos quanto à pressão (Ferreira, J.:2012).....	9
Figura 5 - Representação Conceptual do Desempenho Energético (NP EN ISO 50001:2012) 12	
Figura 6 - Diagrama conceptual do processo de planeamento energético (NP EN ISO 50001-2012)	14
Figura 7 - Plan-Do-Check-Act cycle (ISO 50004:2020)	17
Figura 8 - Relação entre desempenho energético, EnPIs, EnBs e metas energéticas (NP EN ISO 50006-2014).....	18
Figura 9 - Etapas fundamentais no processo de M&V (NP EN ISO 50015-2014)	19
Figura 10 - Custo do Ciclo de Vida (https://allevant.com.br/analise-de-sistemas-o-quinto-passo-da-gestao-de-ativos/)	28
Figura 11 - Depreciação do Valor do Ativo	32
Figura 12 - Depreciação do Valor do Ativo com Investimento	33
Figura 13 - MRAU Taxa Aparente Constante	35
Figura 14 – MMCMT-RVP Taxa Aparente Constante.....	36
Figura 15 - MRAU Taxa Aparente Anual	37
Figura 16 - MMCMT-RVP Taxa Aparente Anual.....	38
Figura 17 - MRAU com Taxa Aparente Constante e Investimento	40
Figura 18 - MMCMT-RVP Taxa Aparente Constante com Investimento	41
Figura 19 - MRAU Taxa Aparente Anual com Investimento	42
Figura 20 – MMCMT-RVP Taxa Aparente Anual com Investimento.....	43

Figura 21 - Análise Global do LCI (Taxa Aparente Fixa)	44
Figura 22 - Análise Global LCI/Renda Final (Taxa Aparente Fixa)	45
Figura 23 - Vida útil da Central da Fervença (Taxa Aparente Fixa).....	45
Figura 24 - Análise Global do LCI (Taxa Aparente Anual)	46
Figura 25 - Análise Global LCI/Renda Final (Taxa Aparente Anual)	47
Figura 26 - Vida útil da Central da Fervença (Taxa Aparente Anual).....	47

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Depreciação do valor do Ativo	31
Tabela 2 - Depreciação do Valor do Ativo com Investimento	33
Tabela 3 - MRAU Taxa Aparente Constante	34
Tabela 4 – MMCMT-RVP Taxa Aparente Constante	36
Tabela 5 - MRAU Taxa Aparente Anual.....	37
Tabela 6 - MMCMT-RVP Taxa Aparente Anual	38
Tabela 7 - MRAU com Taxa Aparente Constante e Investimento	39
Tabela 8 - MMCMT-RVP Taxa Constante com Investimento.....	40
Tabela 9 - MRAU Taxa Aparente Anual com Investimento	41
Tabela 10 – MMCMT-RVP Taxa Aparente Anual com Investimento	42

ACRÓNIMOS E SIMBOLOGIA

Acrónimos

CA	Custo de Aquisição do Equipamento
CE	Custos de Exploração
CM	Custos de Manutenção
CO	Custos de Operação
EPIA	<i>Energy Performance Improvement Action</i>
IDE	Indicador Desempenho Energético
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LCC	<i>Life Cycle Cost</i>
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
LCC	<i>Life Cycle Cost</i>
LCI	<i>Life Cycle Investment</i>
MMCMT	Método de Minimização do Custo Médio Total
MMCMT-RVP	Método de Minimização do Custo Médio Total com Redução ao Valor Presente
MRAU	Método da Renda Anual Uniforme
M&V	<i>Measurement and Verification</i>
PDCA	Plan Do Check Act
PESTLE	<i>Political, Economic, Social, Technological, Legal, Environmental</i>
ROI	<i>Return On Investment</i>
SGE	Sistema de Gestão de Energia

SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats</i>
TDODAR	<i>Time, Diagnose, Options, Decide, Act/Assign, Review</i>
i_A	Taxa aparente
d_l	Quota Anual de Depreciação
$C'n$	Variável Auxiliar
$C''n$	Variável Auxiliar
$C_n (MCMT)$	Minimização do Custo Médio Total
$C_n (MCMT-RVP)$	MCMT com Redução ao Valor Presente
VC_n	Valor residual do equipamento ao fim de N períodos de tempo
V_n	Valor do equipamento, num período $n=1,2,3...n$.
N	Tempo de vida correspondente a VC_n
I	$I=1,2,3...n$

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Um Ativo segundo a *ISO 55000*, é definido como “Um ativo é um item, coisa ou entidade que tem valor potencial ou real para uma organização.”, deste modo Ativos Físicos podem ser instalações, máquinas, equipamentos, veículos, infraestruturas, sistemas de abastecimento de água, entre outros.

A Gestão de Ativos é um conjunto de atividades de gestão, com tarefas e deveres, cujo objetivo é a melhoria contínua, na utilização dos recursos de uma empresa, a curto, médio e longo prazo.

Um sistema de gestão de ativos é uma ferramenta utilizada pela organização, de modo a orientar, coordenar e controlar as atividades de gestão, de modo a controlar o risco e assegurar o alcance dos objetivos traçados na gestão de ativos.

A Gestão de Energia dever ser inserida no plano da gestão de ativos de uma organização, pois permite uma análise e controlo do consumo energético, proporcionando uma melhoria do desempenho energético (uso de energia, consumo de energia e eficiência energética).

No presente projeto, é realizado uma análise de ativos, onde o ativo em estudo é a Central de captação de água e distribuição, a principal da empresa INOVA, S.A.

1.2 Objetivos

Pretende-se com este projeto, otimizar a rentabilidade e o nível do serviço oferecido por uma empresa de captação e distribuição de água, através da correta escolha dos equipamentos e da implementação de ferramentas para análise do ciclo de vida da Estação de Captação, identificar o modelo mais racional para o valor do preço final da água a entregar aos clientes.

1.3 Metodologia e Questões de Investigação

Para atingir os objetivos referidos, o modelo desenvolvido procura interpretar o funcionamento da central de captação como um único ativo, contemplando a infraestrutura, os equipamentos de monitorização, as eletrobombas (centrífugas e submersíveis), e as despesas de funcionamento (manutenção, eletricidade e tratamento de água).

As questões de investigação que se pretende responder são as seguintes:

1. Qual a metodologia de gestão mais coerente para o ativo em estudo?
2. Qual o impacto dos valores da energia no ciclo de vida dos ativos?
3. Qual é o tempo mais adequado para a substituição dos ativos?

1.4 Estrutura

A tese em epígrafe encontra-se estruturada da seguinte forma:

- Capítulo 1 – Apresentação e enquadramento do estudo de caso, com a visão genérica do projeto;
- Capítulo 2 – Apresentação da empresa que disponibilizou os seus ativos. São abordadas algumas noções básicas para compreensão do que é uma central de captação de água;
- Capítulo 3 – Estado da arte, onde são abordadas as normas que suportam uma Gestão de Ativos Físicos e utilizadas no projeto, bem como serão introduzidas as metodologias e Modelos Económétricos utilizados;
- Capítulo 4 – Apresenta os resultados obtidos, detalhando cada metodologia aplicada, através de valores reais e previsão para os anos seguintes.
- Capítulo 5 – Conclusão e apresentação de perspetivas para futuros desenvolvimentos.

2 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

2.1 Inova, EM

A INOVA – EM executa um conjunto de atividades e de serviços que implicam uma grande responsabilidade na qualidade de vida dos cidadãos, na proteção do ambiente e no desenvolvimento do Município de Cantanhede. Presentemente, em termos de abastecimento de água, o Município de Cantanhede não está integrado em nenhum sistema multimunicipal, sendo a entidade gestora encarregue da captação, tratamento, regularização e distribuição de água no Concelho. Apesar de alguma dispersão dos aglomerados populacionais, a população residente é servida pelo sistema baseado nas captações de Olhos de Fervença, Freguesia de Cadima, na zona central do Concelho.

O sistema é autónomo em termos de captação de água, procedendo inclusive à exportação para os Concelhos vizinhos de Mira, Montemor-o-Velho e Coimbra (Figura 1).

A síntese das infraestruturas existentes afetas ao Sistema de Abastecimento de Água do Município é a seguinte:

- Captações - 3 instalações com a capacidade de 19 008 m³/dia;
- Instalação e tratamento - 5 instalações com a capacidade de 10 968 m³/dia;
- Estações elevatórias - 12 instalações;
- Adutoras - 139,2 km, com diâmetros entre 63 e 500 mm;
- Reservatórios - 21 instalações com capacidade de 14 000 m³;
- Redes de distribuição - 461,4 km com diâmetros entre 63 e 315 mm.



Figura 1 - Estrutura de Captação e Distribuição de água no Concelho de Cantanhede
(https://www.inova-em.pt/servicos/abastecimento_agua/ 27/01/2023)

2.2 Central de Captação e Bombeamento em Fervença

Vários estudos retratam a importância dos ativos físicos nas empresas, demonstrando a importância na gestão e controlo de processos, prolongando a vida útil do equipamento bem como a sua importância. Neste estudo será retratado os equipamentos de captação e trasfega, bem como as infraestruturas hidráulicas.

Um furo para captação de água potável, deve ser sempre devidamente projetado/dimensionado em conformidade com o decreto de Lei nº46/94 de 22 de Fevereiro, tendo em consideração o local/função, a composição do solo e materiais utilizados. Para tal deve entender-se o conceito hidrológico representado na Figura 2.

Segundo (Ferreira J., 2012), “a água a captar é aquela que existe no seio das formações geológicas (rochas ou terrenos). Para tal, é necessário que essas formações constituam “aquíferos”, isto é, contenham “espaços” ou “vazios” (poros, fissuras e cavidades) acessíveis à água e que, subsequentemente, permitam o seu armazenamento e circulação, bem como a sua exploração com vista à satisfação das diferentes necessidades do Homem em condições economicamente vantajosas.

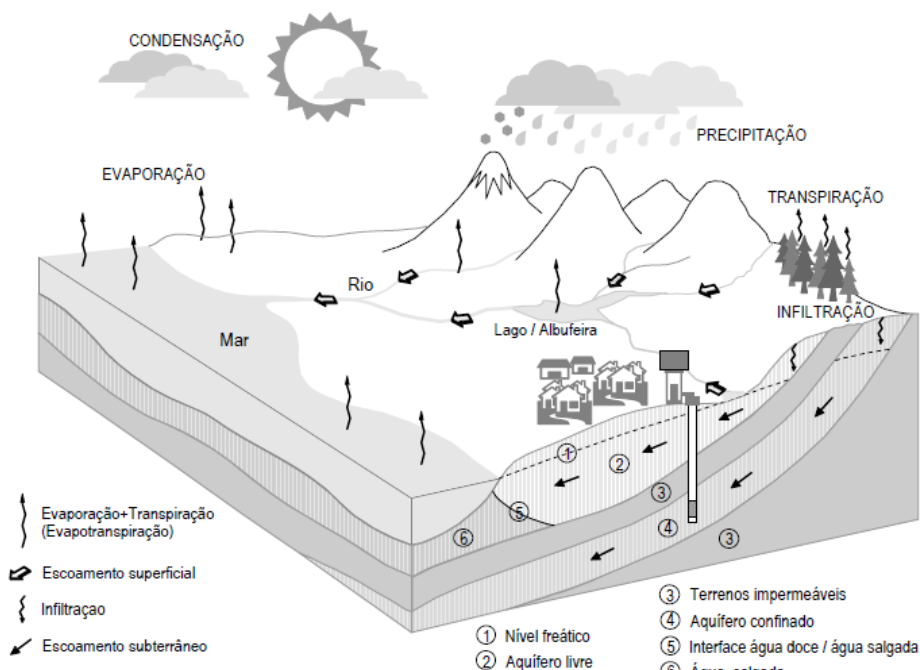


Figura 2 - Ciclo Hidrológico Simplificado (Ferreira, J.:2012))

Na Figura 3 representam-se três tipos de terrenos ou formações litológicas onde esses “espaços” podem ocorrer, sendo possível definir outros tantos tipos de aquíferos:

- *Aquífero Fissurado* – em que formação geológica é constituída por rochas duras cujas fraturas/fissuras permitem a circulação de água, conferindo-lhe “permeabilidade fissural” (e.g. quartzitos, granitos, xistos não alterados, etc.);
- *Aquífero Cársico* – em que a formação geológica é geralmente constituída por rochas carbonatadas com cavidades por vezes de grandes dimensões, resultantes da dissolução dos materiais que a constituem (e.g. calcários) e que lhe permitem um rápido escoamento subterrâneo;
- *Aquífero Poroso* – em que a formação geológica contém poros ou interstícios resultantes do arranjo dos materiais que a constituem deixando espaços vazios (e.g. areias e cascalheiras) e que lhe conferem “permeabilidade intersticial”.

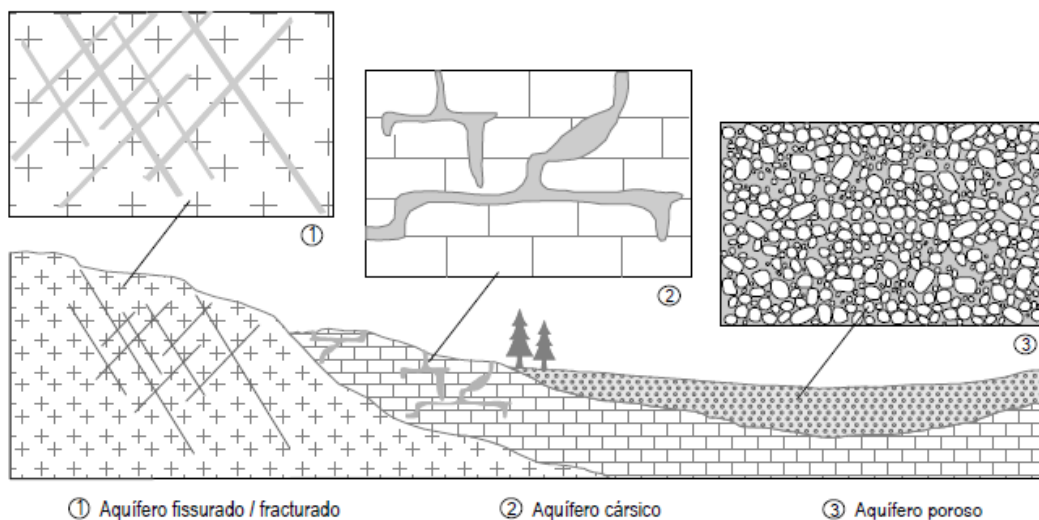


Figura 3 - Classificação dos aquíferos quanto ao tipo de permeabilidade (Ferreira, J.:2012)

Os aquíferos podem também ser classificados quanto à pressão a que está submetida a água neles contida. Neste contexto, e conforme a Figura 4, existem os seguintes tipos de aquífero:

- *Aquífero Livre* – O mesmo que aquífero freático...em que a superfície livre da água nele contida está à pressão atmosférica...um furo que atravessasse, total ou parcialmente, um aquífero livre, o nível da água ou nível freático, coincidirá com o limite superior da zona saturada nesse ponto...;
- *Aquífero Confinado* – O mesmo que aquífero cativo...limitado superior e inferiormente por formações impermeáveis ou praticamente impermeáveis...a água está submetida a uma pressão superior à pressão atmosférica e todos os poros ou outros espaços estão completamente saturados de água. Num furo que intersepte um aquífero confinado, o nível da água ou *nível piezométrico* subirá acima do limite superior (teto)...Este fenómeno é conhecido por *artesianismo*...*artesianismo positivo* quando o nível piezométrico atinge e ultrapassa a superfície do terreno na forma de repuxo (furo repuxante); diz-se *artesianismo negativo* quando o nível piezométrico não atinge a superfície do terreno;
- *Aquífero Semiconfinado* – Aquífero limitado superior e/ou inferiormente por formações de espessura relativamente reduzida e muito pouco permeáveis, através das quais a circulação vertical de água, embora muito lenta, permite a sua alimentação.”

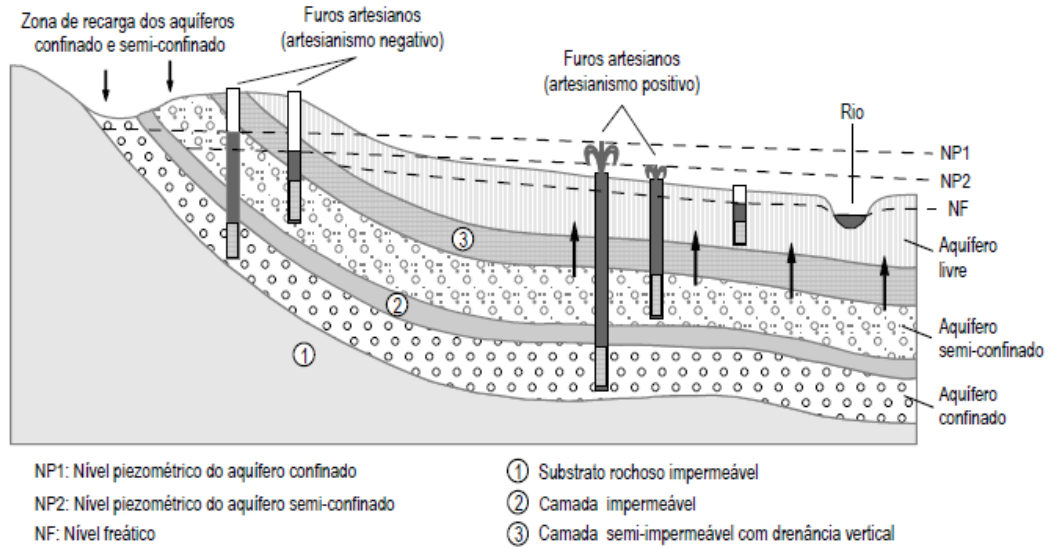


Figura 4 - Classificação dos aquíferos quanto à pressão (Ferreira, J.:2012)

Um furo construído corretamente, assegura os seguintes aspetos (Ferreira J., 2012):

- “A extração do caudal pretendido causando as menores modificações possíveis ao aquífero (*e.g.* rebaixamentos exagerados e contaminações induzidas);
- Água com qualidade adequada ao fim a que se destina;
- A proteção do aquífero de fontes locais de contaminação;
- Um custo total de construção e de exploração razoável a curto e médio prazo;
- Um período de vida útil médio de 25 anos.”

Tipicamente a vida útil do furo poderá ser cerca de 10 a 70 anos. Esta diferença deve-se ao tipo de material utilizado para a sua construção, sendo os mais comuns o PVC, o ferro fundido e o aço inoxidável.

3 ESTADO DA ARTE

3.1 Gestão do Ciclo de Vida dos Ativos Físicos

Com o decorrer do tempo, os ativos físicos apresentam desgaste, o que se traduz no declinar do seu valor e da sua vida útil, até a atingir a obsolescência. Deste modo, é de alta importância que qualquer entidade deva implementar um sistema de gestão de ativos, designadamente através da certificação pelas normas ISO 5500X (ISO 55000:2016, ISO 55001:2016 e ISO 55002:2016). Estas normas visam “...coordenar e controlar as atividades de gestão de ativos, de modo a reduzir o risco, a identificação de oportunidades ou o aperfeiçoamento de processos, demonstrando os retornos, e reforçar o apoio das partes interessadas.”, promovendo a melhoria contínua dos serviços, a fim de alcançar o equilíbrio entre custo, risco e desempenho.

Segundo a norma (ISO 55000:2016), a sua implementação beneficia:

- “a melhoria do desempenho financeiro”;
- “decisões fundamentadas de investimento em ativos”;
- “a gestão do risco”;
- “a melhoria dos serviços e dos resultados”;
- “a demonstração de responsabilidade social”;
- “a demonstração da conformidade”;
- “a melhoria da reputação”;
- “a melhoria da sustentabilidade da organização”;
- “a melhoria da eficiência e da eficácia”.

A Norma *ISSO 55000* apresenta uma visão geral, princípios e terminologias, contextualizando as normas sucessoras. A *ISO 55001* especifica os requisitos para a implementação, manutenção e melhoria de um sistema de gestão para um Sistema de Gestão de Ativos.

No entanto a *ISO 55002* com base nas orientações e requisitos da *ISO 55001*, em questões práticas, é mais relevante, pois apresenta as linhas de orientação e aplicação na prática, especificando os requisitos técnicos por setor, ativo ou atividade.

Na qual será necessário:

- Compreender a organização e o seu contexto;
- Compreender as necessidades e as expetativas das partes interessadas;
- Determinar o âmbito do sistema de gestão de ativos;
- Desenvolvimento de um sistema de gestão de ativos;

Um sistema de Gestão de ativos deve incluir:

- A política de gestão de ativos;
- Os objetivos da gestão de ativos;
- O plano estratégico de gestão de ativos;
- Implementação:
 - No planeamento e controlo operacional;
 - Nas atividades de apoio;
 - Nas atividades de controlo;
 - Em outros processos relevantes.

3.2 Regulamentação de um Sistema de Gestão de Energia

Para um maior controlo e regulação dos consumos, a norma *ISO 50001* permite que as organizações estabeleçam sistemas e processos necessários para a melhoria do desempenho energético, incluindo a eficiência energética, nomeadamente uso e consumo de energia. Provocando uma redução nas emissões de gases com efeito de estufa, bem como nos custos de energia.

Segundo descrição constante na *NP EN ISO 50001* “Esta Norma especifica requisitos para sistemas de gestão de energia (SGE), sobre os quais uma organização pode desenvolver e implementar uma política energética e estabelecer objetivos, metas e planos de ação que tenham em conta as exigências legais e informações relacionadas com o uso significativo de energia. Um SGE permite a uma organização alcançar os seus compromissos políticos, tomar as medidas necessárias para melhorar o seu desempenho energético e demonstrar a conformidade do sistema com os requisitos desta Norma.”.



Figura 5 - Representação Conceptual do Desempenho Energético (NP EN ISO 50001:2012)

A norma em epígrafe baseia-se na metodologia PDCA (Plan-Do-Check-Act) e em elementos comuns das normas, garantindo a compatibilidade com a *ISO 9001* e *ISO 14001*, incorporando a gestão da energia nas práticas diárias. Especificando os requisitos aplicáveis ao uso e consumo de energia, incluindo documentação, medição e comunicação, conceção e desenvolvimento e práticas de aprovisionamento de equipamentos, sistemas, processos e pessoas que contribuem para o desempenho energético.

Requisitos gerais:

- a) “estabelecer, documentar, implementar, manter e melhorar um SGE de acordo com os requisitos desta Norma”;
- b) “definir e documentar o âmbito e fronteiras do seu SGE”;
- c) “determinar como serão cumpridos os requisitos desta Norma, de modo a alcançar a melhoria contínua do seu desempenho energético e do seu SGE”.

Devendo ter de desenvolver, registar e manter uma avaliação energética devidamente documentada:

- a) “analisar o uso e consumo de energia baseado em medições e outros dados”;
- b) “baseada na análise da utilização e consumo da energia, identificar as áreas de uso significativo de energia”;
- c) “identificar, priorizar e registar oportunidades de melhoria do desempenho energético”.

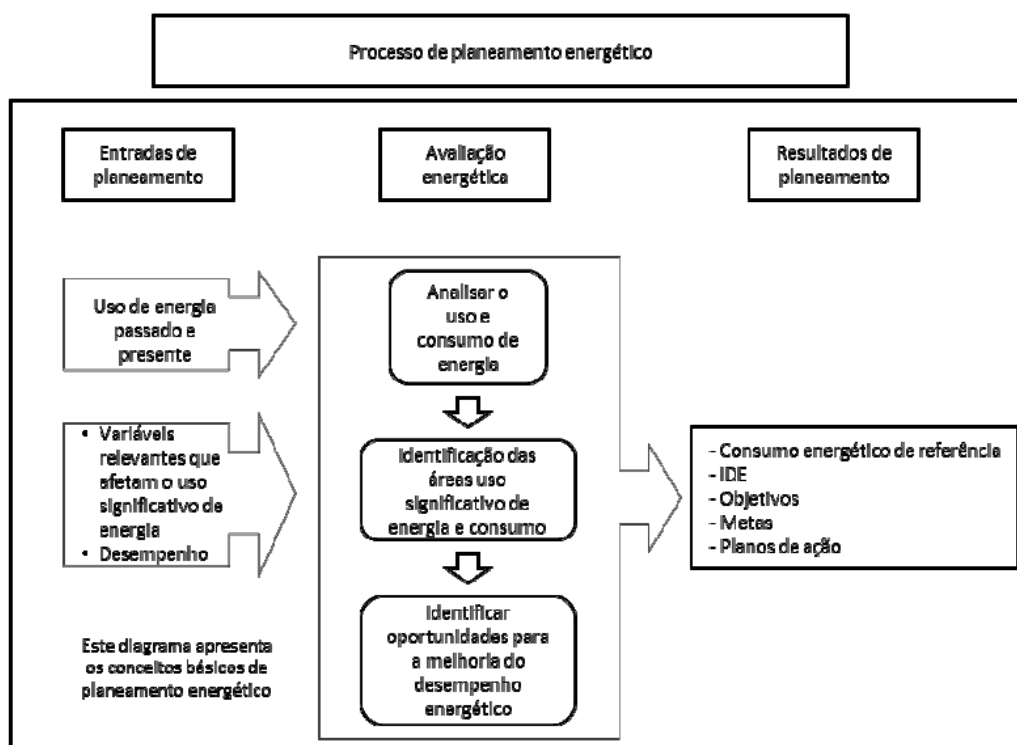


Figura 6 - Diagrama conceptual do processo de planeamento energético (NP EN ISO 50001-2012)

O diagrama da Figura 6 representa um exemplo de um processo de planeamento energético, as informações representadas não são exaustivas podendo haver outros detalhes específicos da organização ou circunstâncias particulares.

Um SGE procura em última análise a melhoria do desempenho energético de uma organização, sendo que para o desempenho energético contribuem o uso de energia, o consumo de energia e a eficiência energética. Devendo este ser devidamente documentado para memória futura.

Como implementar:

- Criação de procedimentos para implementação e operação do SGE, por uma equipa técnica devidamente informados e com competências adequadas;
- Definir a política energética;
- Proceder à revisão do sistema;
- Definir o âmbito e fronteiras do SGE;
- Comunicar, sensibilizar e administrar formação;
- Definir objetivos, metas e planos de eficiência energética assentes num procedimento.

Para verificação da eficiência do SGE, a organização deve monitorizar, medir e analisar periodicamente os consumos de energia, as variáveis e os IDE (Indicador Desempenho Energético) relacionados, bem como, os resultados da avaliação energética e avaliação do consumo real de energia face ao esperado, e a eficácia dos planos de ação.

Todos os desvios relevantes no desempenho energético devem ser investigados e solucionados.

A Norma Internacional *ISO 50002* tem como objetivo definir o conjunto mínimo de requisitos, que conduzam à deteção de oportunidades para melhoria do desempenho energético.

Uma auditoria energética inclui uma análise minuciosa ao desempenho energético de uma organização, equipamento(s), sistema(s) ou processo(s), baseando-se na medição e observação da utilização da energia, da eficiência energética e do consumo. Estas são planeadas e realizadas, como parte da identificação e priorização de oportunidades para melhorar o desempenho energético, minimizar o desperdício de energia e obter benefícios ambientais relacionados.

Os resultados da auditoria demonstram dados relevantes, sobre a utilização e o desempenho atual, bem como disponibilizam recomendações classificadas, para a melhoria do desempenho energético e benefícios financeiros.

Uma auditoria energética pode apoiar uma análise energética e facilitar a monitorização, medição e análise conforme descrito na *ISO 50001*, ou pode ser utilizada de forma autónoma.

Esta Norma Internacional permite diferenças na abordagem e em termos de âmbito, limite e objetivo da auditoria, e procura harmonizar os objetivos comuns da auditoria. objetivo da auditoria e procura harmonizar os aspetos comuns da auditoria energética, a fim de aumentar a clareza e transparência.

O processo de auditoria energética é apresentado como uma sequência cronológica simples, mas tal não exclui iterações repetidas de certos passos.

O corpo principal desta Norma Internacional abrange os requisitos gerais e o enquadramento comum a todas as auditorias energéticas, que podem ser complementadas por normas nacionais de auditoria equivalentes.

Para a auditoria de tipos específicos de instalações, processos ou equipamentos, é necessário consultar as normas e diretrizes internacionais, nacionais e locais relevantes.

A norma *ISO 50004* permite a compreensão das necessidades e expectativas das partes interessadas, garantindo que a organização componha uma estrutura formal, de modo a identificar e responder às necessidades e expectativas das partes relevantes internas e externas. Isso ajuda a alinhar o SGE com as práticas e abordagens preferenciais, utilizadas pela organização, para conduzir as operações comerciais.

A administração encontra-se em melhor posição para garantir que o SGE reflita o contexto organizacional, com continuidade nos benefícios esperado. Uma vez que as questões internas e externas oscilam com o tempo, de modo a garantir que o contexto permaneça atual, a organização deve incluir um processo de revisão periódica, pois pode interferir com processos internos.

Ferramentas como a análise *SWOT* (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*), a análise *PESTLE* (*Political, Economic, Social, Technological, Legal, Environmental*) ou a análise *TDODAR* (*Time, Diagnose, Options, Decide, Act/Assign, Review*) podem ser utilizadas para identificação e avaliação de questões contextuais. Sendo que com uma abordagem mais simplificada, como o brainstorming, pode ser benéfico para as organizações.

Todos os requisitos devem ser previamente acordados e documentados, para uma melhor organização na revisão energética.



Figura 7 - Plan-Do-Check-Act cycle (ISO 50004:2020)

A norma *ISO 50006* fornece a orientação prática, de como atingir os requisitos exigidos pela *ISO 50001* relacionados ao estabelecimento, uso e manutenção dos indicadores de desempenho energético (EnPIs), bem como as linhas de base energéticas (EnBs) na medição e mudanças no desempenho energético. Sendo que o desempenho energético é um conceito amplo, relacionado ao consumo, uso e eficiência energética, na qual para gerir corretamente, há que saber como e quando a energia é consumida e quantificá-la.

Um EnPI é uma medida quantitativa dos resultados relacionados à eficiência, uso e consumo energético, já os IDEs são uma medida de desempenho energético.

O EnB é uma referência que caracteriza e quantifica o desempenho energético durante um determinado período, permitindo uma avaliação das mudanças no desempenho energético entre períodos selecionados. Sendo também possível o cálculo de poupanças de energia, como referência o antes e depois da implementação das ações de melhoria do desempenho energético.

A relação entre desempenho energético, IDEs, EnBs e metas energéticas é ilustrada na Figura 8.

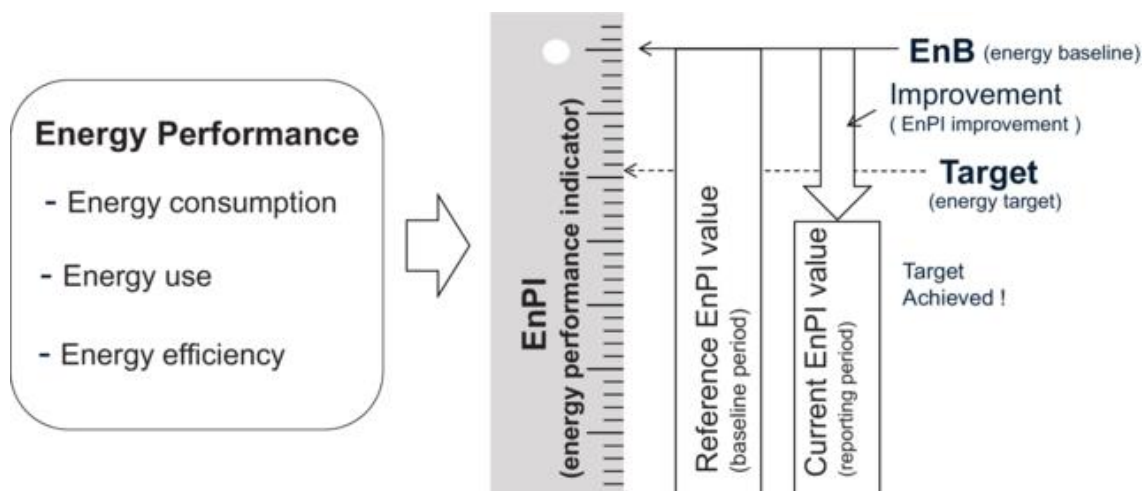


Figura 8 - Relação entre desempenho energético, EnPIs, EnBs e metas energéticas (NP EN ISO 50006-2014)

Esta Norma fornece exemplos e estratégias para medir o desempenho energético utilizando EnPIs e EnBs.

A norma Internacional *ISO 50015* não especifica métodos de cálculo, em vez disso, estabelece um entendimento comum de M&V (Measurement and Verification) e como pode ser aplicada a diferentes métodos de cálculo. Estes princípios e diretrizes são aplicáveis independentemente do método de M&V utilizado. O objetivo da M&V é proporcionar confiança de que os resultados relatados são credíveis, realçando fatores fulcrais como:

- Precisão adequada e gestão de incerteza de valores;
- Transparência e reprodutibilidade do processo;
- Gestão de dados e planeamento das medições;
- Competência dos profissionais de M&V;
- Imparcialidade;
- Confidencialidade;
- Utilização de métodos adequados.

Para tal existem seis etapas fundamentais no processo M&V:

- 1) Estabelecer e documentar um plano de M&V;
- 2) Recolha de dados;
- 3) Verificar a implementação de EPIA(s);
- 4) Conduzir análises de M&V;
- 5) Relatar resultados de M&V e emitir documentação;
- 6) Revise a necessidade de repetir o processo, conforme necessário.

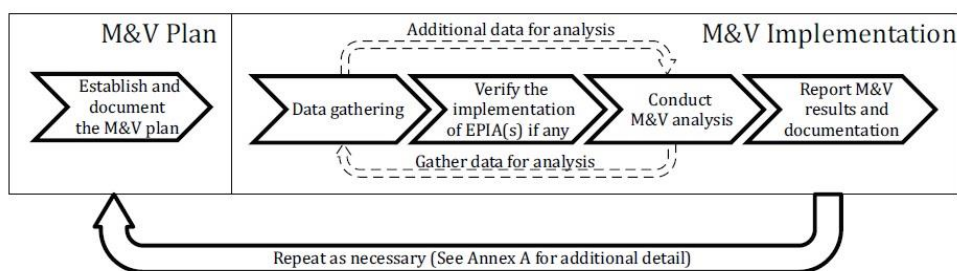


Figura 9 - Etapas fundamentais no processo de M&V (NP EN ISO 50015-2014)

A norma internacional *ISO 50047* apoia as organizações a determinar a poupança de energia, estabelecendo objetivos coincidentes com os requisitos pré-estabelecidos, na realização de relatórios com uma determinada periodicidade, ou até mesmo para cálculo do retorno financeiro das ações de melhoria no desempenho energético.

3.3 Modelos Econométricos

Neste capítulo será abordado alguns modelos econométricos, incidindo na vida útil de substituição dos equipamentos com base no risco e consumo energético, abordando parâmetros e considerações relevantes, como:

- Custo de Aquisição (CA);
- Custos de Exploração (CE):
 - Custos de Operação (CO);
 - Custos de Manutenção (CM);
- Valor de Cessão (VC);
- Taxa de Capitalização (i);
- Taxa de inflação (ϑ).

Sendo estes alcançáveis através de um histórico organizado e completo, no entanto explorando outras vertentes, podem-se simular alguns tipos de desvalorização, tais como:

- Método Linear Depreciação;
- Método Soma de Dígitos;
- Método Exponencial.

Segundo (Farinha, 2011) e (Raposo, 2017) podem-se descrever:

3.3.1 Método Linear Depreciação

“Este método considera que o decaimento do valor do equipamento é constante ao longo dos anos, sendo calculado da seguinte maneira:

$$d_l = \frac{CA - VC_n}{N} \quad (1)$$

Sendo:

- d_l - Quota anual de depreciação;
- CA - Custo de aquisição do equipamento;
- VC_n - Valor residual do equipamento ao fim de N períodos de tempo;

N - Tempo de vida correspondente a VC_n ;

l - $l=1,2,3...n$;

V_n - Valor do equipamento, num período $n=1,2,3...n$.

O valor do equipamento, V_n , num período n menor que N é dado por:

$$V_n = CA - n * d \quad (2)$$

3.3.2 Método Soma de Dígitos

Neste caso, a desvalorização anual é não linear, sendo calculada da seguinte maneira:

$$d_l = 2 * \frac{N-(l-1)}{N+1} * \frac{CA-VC_n}{N} \quad (3)$$

Sendo,

d_l - Quota anual de depreciação;

CA - Custo de aquisição do Equipamento;

N - Tempo de vida correspondente a VC_n ;

VC_n - Valor residual do equipamento ao fim de N períodos de tempo;

l - $l=1,2,3 \dots N$;

V_n - Valor do equipamento, num período $n=1,2,3 \dots N$.

$$V_n = CA - d_l \quad (4)$$

3.3.3 Método Exponencial

O método exponencial faz incidir uma carga anual de depreciação decrescente ao longo da vida do ativo. A fórmula de cálculo é a seguinte:

$$d_l = VC_{l-1} * (1 - \sqrt[N]{\frac{VC_n}{CA}}) \quad (5)$$

Sendo,

- d_l - Quota anual de depreciação;
- CA - Custo de aquisição do Equipamento;
- N - Tempo de vida correspondente a VC_n ;
- VC_n - Valor residual do equipamento ao fim de N períodos de tempo;
- l - l=1,2,3 ... N;
- V_n - Valor do equipamento, num período n=1,2,3 ... N.

$$V_n = CA - d_l \quad (6)$$

Os equipamentos podem ser substituídos segundo vários critérios, ...Pela vertente financeira, um critério usual é o do “ciclo económico”, que permite determinar o período ótimo que minimiza os custos totais médios de operação, de manutenção e de imobilização de capital.

Outro método usualmente utilizado é o da “vida útil”, que define que esta termina quando seus custos de manutenção ultrapassam os custos de manutenção mais os de amortização do capital de um equipamento novo equivalente.

Contudo, não obstante, ser possível, a partir dos valores de depreciação de mercado, poder passar-se à análise de substituição de equipamentos, deverão ter-se em consideração dois outros tipos de variáveis, que são:

- A taxa de capitalização, denominada por i
- A taxa de inflação, denominada por $\emptyset$

Estas taxas relacionam-se da seguinte maneira:

$$i_A = i + \emptyset + i * \emptyset \quad (7)$$

i_A – Taxa Aparente”

Na qual é possível determinar o ciclo económico de substituição de um ativo através dos:

- Métodos da Renda Anual Uniforme (MRAU);
- Método da Minimização do Custo Médio Total (MCMT);
- Método de MCMT com Redução ao Valor Presente (MCMT-RVP).

3.3.4 Método da Renda Anual Uniforme

O presente método requer os seguintes dados:

- Custos de aquisição do equipamento;
- Valores de cessão (calculados de acordo com os métodos atrás expostos);
- Custos de manutenção e de exploração ao longo dos anos;
- Taxa aparente

Segundo (Raposo, 2017) o Valor Presente Líquido no ano n (VPL_n) é dado por:

$$VPL_n = CA + \sum_{j=0}^n \frac{CM_j + CO_j}{(1+i_A)^j} - \frac{V_n}{(1+i_A)^n} \quad (8)$$

CA	-	Custo de aquisição do Equipamento;
CM _j	-	Custos de manutenção no ano j= 1,2,3 ... n;
CO _j	-	Custos de operação no ano j= 1,2,3 ... n;
i _A	-	Taxa aparente;
V _n	-	Valor do equipamento, num período n=1,2,3 ... N.

A Renda Anual Uniforme (RAU_n) é calculada da seguinte forma:

$$RAU_n = \frac{i_A(1+i_A)^n}{(1+i_A)^n - 1} * VPL_n \quad (9)$$

Onde conforme (Raposo, 2017) “O menor valor RAU calculado indica qual o período respetivo (múltiplos do ano) em que o equipamento deve ser substituído. Esse valor é equivalente a uma renda mínima que o equipamento custaria anualmente.”.

3.3.5 Método de Minimização do Custo Médio Total

O presente método tem como objetivo determinar o menor custo médio de posse do equipamento bem como o ano em que ocorre, correspondendo ao período ótimo de substituição, não sendo considerados os custos de capital e a taxa de inflação.

$$C'_n = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (CM_j + CO_j) \quad (10)$$

$$C''_n = \frac{1}{n} (CA - V_n) \quad (11)$$

$$C_{n(MCMT)} = C'_n + C''_n \quad (12)$$

$C_{n(MCMT)}$ - Custo médio total

3.3.6 Método de MCMT com Redução do Valor Presente

O cálculo do método MCMT-RVP é semelhante ao anterior, com a diferença que agora considera-se os custos de capital e taxa de inflação. Os diversos valores de manutenção e de cessão, ao longo dos anos, são reduzidos ao seu valor presente:

$$C'_n = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{CM_j + CO_j}{(1+i_A)^j} \right) \quad (13)$$

$$C''_n = \frac{1}{n} \left(CA - \frac{V_n}{(1+i_A)^n} \right) \quad (14)$$

$$C_{n(MCMT-RVP)} = C'_n + C''_n \quad (15)$$

i_A - Taxa Aparente

$C_{n(MCMT-RVP)}$ - Custo Médio Total

3.3.7 Método Custo anual Uniforme

Tem como objetivo determinar o ano em que ocorre o menor custo anual equivalente, indicando o melhor período de substituição do ativo.

Parâmetros que facilitam a tomada de decisão:

- Inadequação;
- Limite de vida útil;
- Obsolescência;
- Métodos económicos.

3.3.8 Ciclo de Vida de Investimento

É o conjunto de atividades e decisões para análise e seleção de investimentos, ou rescisão, determinando o volume de ativos fixos da empresa, tendo com base o tempo de vida útil do equipamento.

Através da análise do custo do ciclo de vida LCC (*Life Cycle Cost*) é possível avaliar e comparar diferentes tipos de investimentos em termos de custos iniciais contra benefícios de custos operacionais, com uma perspetiva de longo prazo. A chave para aplicar uma análise LCC é aumentar a possibilidade de redução de custos para a fase operacional, mesmo que implique um aumento adicional do investimento inicial. Pois quando aplicado na fase inicial da aquisição de um ativo, é possível obter uma compreensão mais profunda dos custos durante o ciclo de vida para diferentes estratégias.

O cálculo do LCC é devidamente desenvolvido por Flanagan et al. (1989) e Kirk & Dell'Isola (1995) juntamente com decisões e atividades essenciais:

- Definição de estratégias alternativas a serem avaliadas - especificação dos seus requisitos funcionais e técnicos;
- Identificação de critérios económicos relevantes – período de análise, frequência de substituição de componentes e frequência de manutenção;
- Obtenção e agrupamento de custos significativos - em que fases ocorrem e categoria de custos;
- Realização de uma avaliação de risco - sensibilidade sistemática é uma abordagem para reduzir a incerteza global.



Figura 10 - Custo do Ciclo de Vida (<https://allevant.com.br/analise-de-sistemas-o-quinto-passo-da-gestao-de-ativos/>)

Avaliação do ciclo de vida LCA (*Life Cycle Assessment*) tem em conta todas as fases do ciclo de vida de um produto, desde a aquisição de matérias-primas até à fase de fim de vida (por exemplo, desmantelamento do produto ou demolição de um edifício). (Ristimäki, M et al.:2013)

A Norma Internacional ISO 14040 define as fases de uma LCA da seguinte forma:

- Definição de objetivos e âmbito - define o objetivo, características e fronteiras de uma LCA.
- A análise de inventário - define as características da recolha de dados e os procedimentos de cálculo.
- Avaliação de impacto - avalia o significado potencial dos resultados da LCA.
- Interpretação dos resultados - as conclusões da análise de inventário e a avaliação de impacto são combinadas.

3.3.9 Retorno do Investimento (ROI)

Conforme o nome indica, o Retorno do Investimento, mais comum como ROI (*Return On Investment*), é um indicador financeiro que demonstra a eficácia de um investimento, medindo o lucro obtido face ao investimento realizado.

No caso estudo, o ROI foi utilizado como um valor absoluto, cuja fórmula:

$$RO = \sum_{j=0}^n \frac{CF_j}{(1+i_A)} - CA \quad (16)$$

Obtendo-se um resultado com um valor percentual, onde quando positivo corresponde a um investimento lucrativo, já quando se obtém um valor negativo, indica que o investimento resultou em prejuízo.

Na qual conforme os estudos realizados por (Torres Farinha 2020) e (Almeida Pais 2021) é possível evidenciar a eficácia na aplicação do cálculo do ROI, deforma a atingir o momento economicamente viável para substituição de um ativo.

4 CASO DE ESTUDO

Com base nos modelos de económicos referidos anteriormente, o estudo caso foi desenvolvido através do acesso a dados reais, disponibilizados pela INOVA, com foco no cálculo do ciclo de vida da Central da Fervença. Pois é onde se localiza as principais captações de água e rede de distribuição para o abastecimento do regime geográfico.

Os dados recolhidos inclui custos e investimentos realizados na Central da Fervença, onde devido ao histórico de dados, foi possível obter um espaço temporal real desde 2008 até 2022, na qual executou-se uma projeção de dados até 2037, através de linhas de tendência linear, permitindo a análise do LCC (*Life Cycle Cost*) e consequentemente LCI (*Life Cycle Investment*) em 30 anos.

Os cálculos realizados com os dados inerentes, foram através dos três modelos de substituição referenciados no Capítulo 3, juntamente com os três modelos de desvalorização de ativos.

4.1 Modelos de Substituição

O presente capítulo inclui os métodos e caminhos utilizados para o cálculo do período exato para a substituição dos ativos, nomeadamente a Central da Fervença.

Sendo estes divididos por:

- I. O estudo inicia-se com a depreciação do valor do ativo ao longo do período em estudo (30 anos), sem influência da taxa aparente;
- II. De seguida aplica-se uma Taxa Aparente (i_A) constante de 8%, ao longo do tempo em estudo, demonstrando os efeitos no ciclo de vida do ativo.
- III. Numa terceira fase calcula-se a Taxa Aparente (i_A) para cada ano, demonstrando a influência ao longo da vida útil do ativo. Para tal este ensaio foi auxiliado pelo site www.pordata.pt para consulta dos valores da taxa de capitalização e de inflação anual.

4.1.1 Depreciação do Valor do Ativo

Inicialmente ir-se-á verificar a variação do valor do ativo de acordo com cada método, bem como as diferenças ao agregar o valor do investimento.

4.1.1.1 Depreciação do Valor do Ativo (Sem Investimento)

Numa primeira análise, apenas foi utilizado o valor da adjudicação do ativo e a respetiva desvalorização ao longo do tempo (Tabela 1), ignorando o custo do investimento no decorrer dos anos.

Tabela 1 – Depreciação do valor do Ativo

Métodos de Depreciação				
Ano j		Met.Linear	Mét.S.Dig.	Mét.Exp.
2008	1	42 259 019,16 €	41 841 603,13 €	40 176 416,88 €
2009	2	41 833 170,48 €	41 006 771,07 €	37 815 379,42 €
2010	3	41 407 321,80 €	40 180 371,65 €	35 593 092,47 €
2011	4	40 981 473,13 €	39 362 404,88 €	33 501 402,10 €
2012	5	40 555 624,45 €	38 552 870,76 €	31 532 633,57 €
2013	6	40 129 775,77 €	37 751 769,29 €	29 679 563,17 €
2014	7	39 703 927,09 €	36 959 100,46 €	27 935 391,70 €
2015	8	39 278 078,41 €	36 174 864,28 €	26 293 719,51 €
2016	9	38 852 229,73 €	35 399 060,75 €	24 748 523,07 €
2017	10	38 426 381,06 €	34 631 689,86 €	23 294 132,80 €
2018	11	38 000 532,38 €	33 872 751,62 €	21 925 212,31 €
2019	12	37 574 683,70 €	33 122 246,03 €	20 636 738,84 €
2020	13	37 148 835,02 €	32 380 173,09 €	19 423 984,77 €
2021	14	36 722 986,34 €	31 646 532,79 €	18 282 500,31 €
2022	15	36 297 137,66 €	30 921 325,14 €	17 208 097,18 €
2023	16	35 871 288,99 €	30 204 550,14 €	16 196 833,23 €
2024	17	35 445 440,31 €	29 496 207,78 €	15 244 997,98 €
2025	18	35 019 591,63 €	28 796 298,07 €	14 349 098,99 €
2026	19	34 593 742,95 €	28 104 821,01 €	13 505 849,08 €
2027	20	34 167 894,27 €	27 421 776,59 €	12 712 154,22 €
2028	21	33 742 045,59 €	26 747 164,83 €	11 965 102,23 €
2029	22	33 316 196,92 €	26 080 985,71 €	11 261 952,05 €
2030	23	32 890 348,24 €	25 423 239,23 €	10 600 123,73 €
2031	24	32 464 499,56 €	24 773 925,41 €	9 977 188,91 €
2032	25	32 038 650,88 €	24 133 044,23 €	9 390 861,94 €
2033	26	31 612 802,20 €	23 500 595,69 €	8 838 991,50 €
2034	27	31 186 953,52 €	22 876 579,81 €	8 319 552,70 €
2035	28	30 761 104,84 €	22 260 996,57 €	7 830 639,62 €
2036	29	30 335 256,17 €	21 653 845,98 €	7 370 458,38 €
2037	30	29 909 407,49 €	21 055 128,04 €	6 937 320,49 €

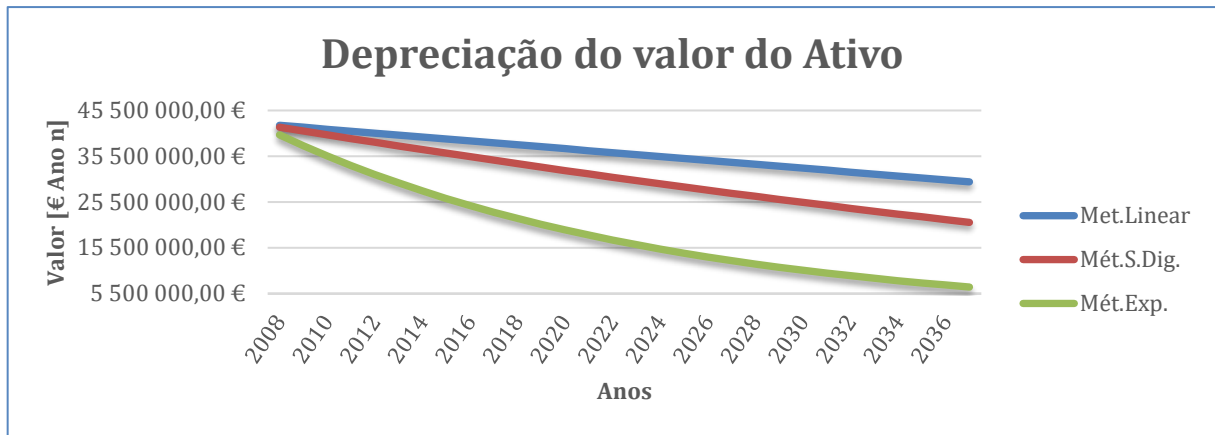


Figura 11 - Depreciação do Valor do Ativo

Realizando a interligação entre a Tabela 1 e a Figura 11, é possível identificar a variação do valor do ativo em função da metodologia aplicada. Na qual através de Método Exponencial o ativo terá uma perda de valor superior, comparativamente aos outros modelos.

4.1.1.2 Depreciação do Valor do Ativo (Com Investimento)

Numa segunda abordagem incrementou-se na equação o valor do investimento no ativo, ao longo dos anos correntes (Tabela 2).

Tabela 2 - Depreciação do Valor do Ativo com Investimento

Métodos de Depreciação				
Ano j		Met.Linear	Mét.S.Dig.	Mét.Exp.
2008	1	42 262 051,02 €	41 844 634,99 €	40 179 448,74 €
2009	2	41 838 046,74 €	41 854 912,04 €	37 820 255,68 €
2010	3	41 414 628,02 €	41 865 774,64 €	35 600 398,69 €
2011	4	40 987 326,13 €	41 872 754,07 €	33 507 255,10 €
2012	5	40 555 624,45 €	41 875 333,72 €	31 532 633,57 €
2013	6	40 141 939,94 €	41 895 930,54 €	29 691 727,34 €
2014	7	39 726 091,99 €	41 914 363,91 €	27 957 556,60 €
2015	8	39 290 710,68 €	41 913 263,93 €	26 306 351,78 €
2016	9	38 852 882,33 €	41 909 716,91 €	24 749 175,67 €
2017	10	38 426 743,06 €	41 917 858,95 €	23 294 494,80 €
2018	11	38 001 188,38 €	41 926 585,60 €	21 925 868,31 €
2019	12	38 937 010,77 €	43 296 689,32 €	21 999 065,91 €
2020	13	37 153 219,53 €	41 947 179,41 €	19 428 369,28 €
2021	14	36 832 337,82 €	42 060 579,02 €	18 391 851,79 €
2022	15	36 297 387,66 €	41 959 910,19 €	17 208 347,18 €
2023	16	35 874 788,99 €	41 971 592,84 €	16 200 333,23 €
2024	17	35 447 440,31 €	41 978 525,48 €	15 246 997,98 €
2025	18	35 027 441,63 €	41 992 808,13 €	14 356 948,99 €
2026	19	34 616 742,95 €	42 016 390,78 €	13 528 849,08 €
2027	20	34 168 244,27 €	42 002 173,43 €	12 712 504,22 €
2028	21	33 743 020,59 €	42 011 231,07 €	11 966 077,23 €
2029	22	33 317 432,59 €	42 019 924,39 €	11 263 187,72 €
2030	23	32 891 807,24 €	42 028 580,37 €	10 601 582,73 €
2031	24	32 472 322,68 €	42 043 377,13 €	9 985 012,03 €
2032	25	32 039 588,81 €	42 044 924,59 €	9 391 799,87 €
2033	26	31 615 198,20 €	42 054 815,31 €	8 841 387,50 €
2034	27	31 193 076,52 €	42 066 974,95 €	8 325 675,70 €
2035	28	30 765 604,84 €	42 073 784,60 €	7 835 139,62 €
2036	29	30 336 491,17 €	42 078 952,25 €	7 371 693,38 €
2037	30	29 910 339,49 €	42 087 081,90 €	6 938 252,49 €

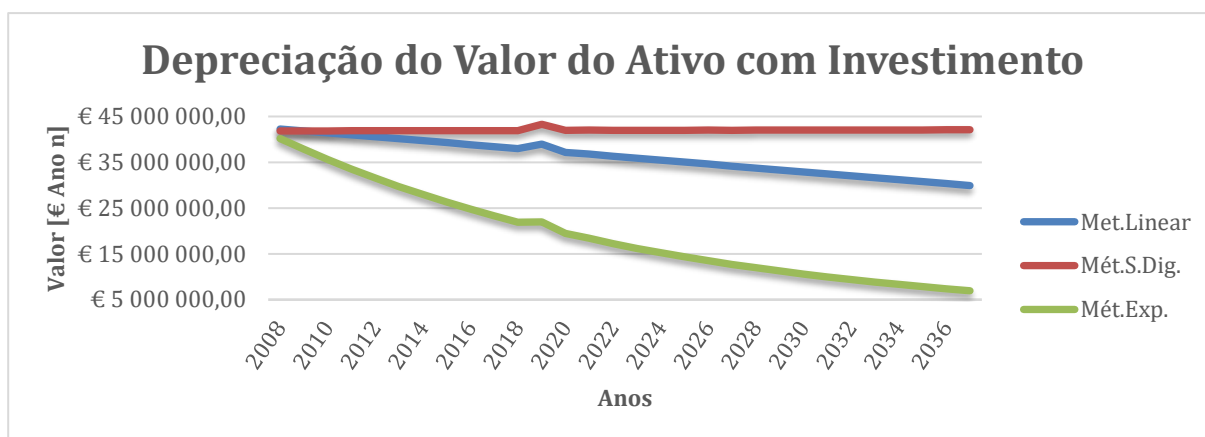


Figura 12 - Depreciação do Valor do Ativo com Investimento

Incrementando o valor de investimento anual no ativo, é possível detetar algumas oscilações no comportamento dependendo do método aplicado. Destacando-se o método exponencial, devido ao declínio do valor ativo, no entanto o método soma de dígitos, não corresponde ao expectável.

No ano de 2019 ocorre um aumento no valor do ativo, devido a um restauro/atualização da Central da Fervença, nomeadamente a nível estrutural, aquisição de eletrobombas de água mais eficientes e equilibradas às condições de funcionamento, restauro dos reservatórios, bem como aplicação de painéis fotovoltaicos. Este investimento rondou em 1.3 M€.

4.1.2 Modelos de Substituição – Taxa Aparente Constante

4.1.2.1 Aplicação do Método da Renda Anual Uniforme (MRAU)

Neste tópico irá ser possível identificar o ciclo de substituição da Central da Fervença, na qual foram incluídos os custos reais de aquisição, manutenção e exploração, considerando-se para o cálculo uma taxa aparente constante de 8%.

O método inicial apresentado é o da Renda Anual Uniforme.

Tabela 3 - MRAU Taxa Aparente Constante

Taxa aparente Fixa	Vn [€]															VPL [€ Ano 0]			MRAU [€ Ano 0]			
	Ano	i [%]	CM [€]	CO [€]	Met.Linear			Met.S.Dig.			Mét.Exp.			Met.Linear			Met.S.Dig.			Mét.Exp.		
2008	1	8%	1 732,01 €	168 378,87 €	170 110,88 €	42 259 019,16 €	41 841 603,13 €	40 176 416,88 €	42 842 377,91 €	42 842 377,91 €	42 842 377,91 €	42 842 377,91 €	53 848 018,79 €	59 452 215,50 €	81 808 882,80 €							
2009	2	8%	6 782,60 €	190 038,53 €	196 821,13 €	41 833 170,48 €	41 006 771,07 €	37 815 379,42 €	42 853 610,24 €	42 853 610,24 €	42 853 610,24 €	52 345 872,79 €	57 652 842,50 €	78 147 313,41 €								
2010	3	8%	5 642,83 €	171 409,04 €	177 051,87 €	41 407 321,80 €	40 180 371,65 €	35 593 092,47 €	42 825 417,32 €	42 825 417,32 €	42 825 417,32 €	51 352 137,45 €	56 376 431,90 €	75 161 091,80 €								
2011	4	8%	9 237,77 €	194 229,43 €	203 467,20 €	40 981 473,13 €	39 362 404,88 €	33 501 402,10 €	42 834 422,31 €	42 834 422,31 €	42 834 422,31 €	50 795 538,43 €	55 550 949,86 €	72 785 488,02 €								
2012	5	8%	8 699,61 €	210 414,02 €	219 113,63 €	40 555 624,45 €	38 552 870,76 €	31 532 633,57 €	42 833 992,89 €	42 833 992,89 €	42 833 992,89 €	50 285 006,22 €	54 784 623,93 €	70 557 099,51 €								
2013	6	8%	23 353,29 €	228 230,22 €	251 583,51 €	40 129 775,77 €	37 751 769,29 €	29 679 563,17 €	42 843 408,13 €	42 843 408,13 €	42 843 408,13 €	49 860 276,27 €	54 116 537,25 €	68 564 528,09 €								
2014	7	8%	5 631,35 €	207 667,52 €	213 298,87 €	39 703 927,09 €	36 959 100,46 €	27 935 391,70 €	42 809 325,68 €	42 809 325,68 €	42 809 325,68 €	49 361 072,44 €	53 385 806,75 €	66 617 254,56 €								
2015	8	8%	8 989,97 €	233 617,73 €	242 607,70 €	39 278 078,41 €	36 174 864,28 €	26 293 719,51 €	42 815 941,23 €	42 815 941,23 €	42 815 941,23 €	49 003 852,02 €	52 808 323,52 €	64 922 387,22 €								
2016	9	8%	12 911,45 €	227 356,10 €	240 267,55 €	38 852 229,73 €	35 399 060,75 €	24 748 523,07 €	42 805 061,43 €	42 805 061,43 €	42 805 061,43 €	48 633 236,23 €	52 228 179,06 €	63 315 986,88 €								
2017	10	8%	5 341,50 €	246 701,09 €	252 042,59 €	38 426 381,06 €	34 631 689,86 €	23 294 132,80 €	42 801 612,33 €	42 801 612,33 €	42 801 612,33 €	48 302 789,98 €	51 698 441,38 €	61 843 770,64 €								
2018	11	8%	6 150,03 €	231 854,84 €	238 004,87 €	38 000 532,38 €	33 872 751,62 €	21 925 212,31 €	42 786 944,05 €	42 786 944,05 €	42 786 944,05 €	47 972 692,63 €	51 178 822,46 €	60 458 715,07 €								
2019	12	8%	11 708,84 €	203 175,36 €	214 984,20 €	37 574 683,70 €	33 122 246,03 €	20 696 758,84 €	42 770 201,31 €	42 770 201,31 €	42 770 201,31 €	47 659 916,72 €	50 685 854,03 €	59 171 174,87 €								
2020	13	8%	16 387,70 €	211 992,84 €	228 380,54 €	37 148 835,02 €	32 380 173,09 €	19 423 984,77 €	42 768 842,89 €	42 768 842,89 €	42 768 842,89 €	47 391 221,16 €	50 245 878,27 €	58 001 822,32 €								
2021	14	8%	18 882,85 €	202 990,90 €	221 873,75 €	36 722 986,34 €	31 646 532,79 €	18 282 500,31 €	42 760 407,21 €	42 760 407,21 €	42 760 407,21 €	47 126 534,39 €	49 818 428,62 €	56 904 982,54 €								
2022	15	8%	19 315,19 €	402 616,22 €	421 931,41 €	36 297 137,66 €	30 921 325,14 €	17 208 097,18 €	42 817 878,22 €	42 817 878,22 €	42 817 878,22 €	46 975 372,69 €	49 512 646,11 €	55 985 008,86 €								
2023	16	8%	35 427,92 €	420 586,58 €	456 014,50 €	35 871 288,99 €	30 204 550,14 €	16 196 833,23 €	42 817 974,13 €	42 817 974,13 €	42 817 974,13 €	46 748 192,39 €	49 138 629,87 €	55 047 596,62 €								
2024	17	8%	65 414,11 €	417 297,37 €	482 711,49 €	35 445 440,31 €	29 496 207,76 €	15 244 997,98 €	42 815 329,77 €	42 815 329,77 €	42 815 329,77 €	46 529 650,00 €	48 780 695,67 €	54 173 008,71 €								
2025	18	8%	121 578,67 €	430 486,67 €	552 065,35 €	35 019 591,63 €	28 796 296,07 €	14 349 098,99 €	42 823 021,66 €	42 823 021,66 €	42 823 021,66 €	46 337 078,31 €	48 455 850,71 €	53 374 520,59 €								
2026	19	8%	227 449,38 €	447 276,68 €	674 726,06 €	34 593 742,95 €	28 104 821,01 €	13 505 849,08 €	42 841 210,01 €	42 841 210,01 €	42 841 210,01 €	46 168 862,49 €	48 162 168,50 €	52 646 768,38 €								
2027	20	8%	428 287,18 €	443 109,65 €	871 396,84 €	34 167 894,27 €	27 421 776,59 €	12 712 154,22 €	42 871 824,47 €	42 871 824,47 €	42 871 824,47 €	46 025 978,66 €	47 900 326,49 €	51 987 262,13 €								
2028	21	8%	811 689,87 €	440 932,34 €	1 252 622,21 €	33 742 045,59 €	26 747 164,83 €	11 965 102,23 €	42 933 708,44 €	42 933 708,44 €	42 933 708,44 €	45 930 885,88 €	47 692 497,08 €	51 415 254,88 €								
2029	22	8%	1 548 217,26 €	435 960,09 €	1 984 177,35 €	33 316 196,92 €	26 080 985,71 €	11 261 952,05 €	43 049 838,43 €	43 049 838,43 €	43 049 838,43 €	45 909 583,08 €	47 564 403,82 €	50 953 778,85 €								
2030	23	8%	2 971 957,86 €	429 162,94 €	3 401 120,80 €	32 890 348,24 €	25 423 239,23 €	10 600 123,73 €	43 264 130,70 €	43 264 130,70 €	43 264 130,70 €	46 012 129,16 €	47 565 840,85 €	50 650 146,68 €								
2031	24	8%	5 741 228,18 €	421 813,96 €	6 163 042,14 €	32 464 499,56 €	24 773 925,41 €	9 977 188,91 €	43 656 775,50 €	43 656 775,50 €	43 656 775,50 €	46 329 451,88 €	47 787 481,18 €	50 592 743,18 €								
2032	25	8%	11 160 947,59 €	415 508,82 €	11 576 456,42 €	32 038 650,88 €	24 133 044,23 €	9 390 861,94 €	44 375 237,75 €	44 375 237,75 €	44 375 237,75 €	47 027 612,61 €	48 395 140,93 €	50 945 274,36 €								
2033	26	8%	21 833 045,68 €	412 196,29 €	22 245 241,97 €	31 612 802,20 €	23 500 595,69 €	8 838 991,50 €	45 692 463,79 €	45 692 463,79 €	45 692 463,79 €	48 411 689,82 €	49 693 662,38 €	52 010 636,70 €								
2034	27	8%	42 976 167,11 €	414 227,99 €	43 390 395,11 €	31 186 953,52 €	22 876 579,81 €	8 319 550,70 €	48 116 773,35 €	48 116 773,35 €	48 116 773,35 €	51 045 600,77 €	52 246 735,26 €	54 350 725,76 €								
2035	28	8%	85 118 596,59 €	424 438,62 €	85 543 035,21 €	30 761 104,84 €	22 260 996,57 €	7 830 639,62 €	52 600 479,33 €	52 600 479,33 €	52 600 479,33 €	55 978 190,46 €	57 102 985,39 €	59 012 513,11 €								
2036	29	8%	169 624 339,28 €	446 270,15 €	170 070 609,43 €	30 335 256,17 €	21 653 845,98 €	7 370 458,38 €	60 938 124,43 €	60 938 124,43 €	60 938 124,43 €	65 172 378,32 €	66 225 121,03 €	67 957 182,05 €								
2037	30	8%	340 096 800,25 €	483 957,31 €	340 580 757,56 €	29 909 407,49 €	21 055 128,04 €	6 937 320,49 €	76 530 875,04 €	76 530 875,04 €	76 530 875,04 €	82 324 557,06 €	83 309 331,47 €	84 879 516,34 €								

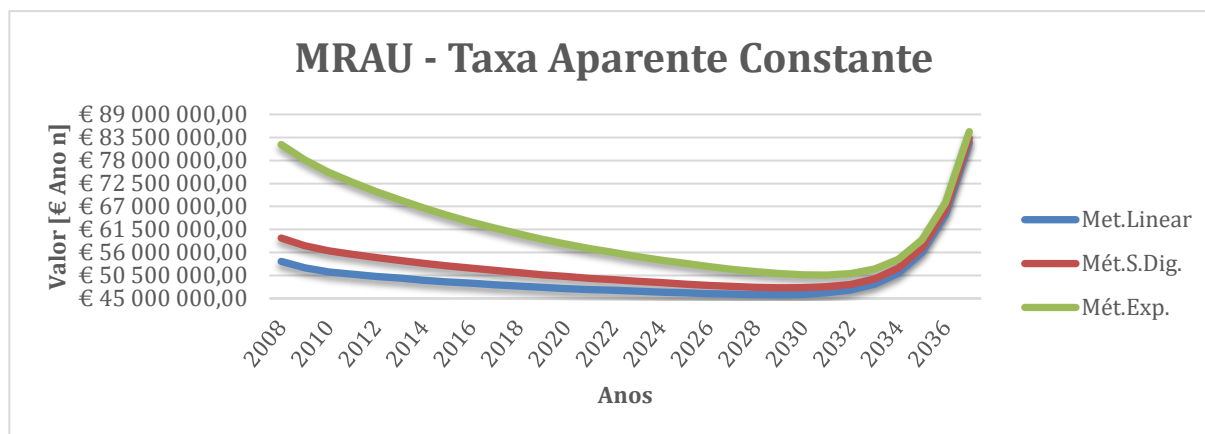


Figura 13 - MRAU Taxa Aparente Constante

Com base na Tabela 3 e Figura 13, pode-se identificar que através do MRAU obtemos uma desvalorização linear do nosso ativo ao longo do tempo, na qual a Central poderia ser substituída entre 2029 e 2031, pois é nestes pontos que se obtém o menor valor da renda anual uniforme.

No entanto como referenciado inicialmente, foi considerado uma taxa aparente constante, na qual pode proporcionar a uma decisão errada, pois na realidade lida-se com variações ao longo dos anos.

4.1.2.2 Aplicação do Método da Minimização do Custo Médio Total com Redução ao Valor Presente (MMCMT-RVP)

O presente caso partilha os mesmos dados com o anterior, no entanto a metodologia presente é o Método da Minimização do Custo Médio Total com Redução ao Valor Presente.

Tabela 4 – MMCMT-RVP Taxa Aparente Constante

					C' [€]			C'' [€ Ano 0]			MMCMT-RVP [€ Ano 0]		
Año	i _a [%]	CM [€]	CO [€]		Met.Linear	Mét.S.Dig.	Mét.Exp.	Met.Linear	Mét.S.Dig.	Mét.Exp.	Met.Linear	Mét.S.Dig.	Mét.Exp.
2008	1	8%	1 732,01	168 378,87	170 110,88	157 510,07	157 510,07	3 556 146,39	3 942 642,72	5 641 991,92	3 713 656,47	4 100 152,79	5 641 991,92
2009	2	8%	6 782,60	190 038,53	196 821,13	120 940,64	120 940,64	3 409 833,40	3 402 603,77	5 253 078,16	3 530 774,04	3 523 544,40	5 253 078,16
2010	3	8%	5 642,83	171 409,04	177 051,87	96 243,70	96 243,70	3 271 466,93	3 152 088,68	4 906 218,19	3 367 710,63	3 248 332,38	4 906 218,19
2011	4	8%	9 237,77	194 229,43	203 467,20	81 529,93	81 529,93	3 140 565,42	2 977 861,43	4 596 614,23	3 222 095,35	3 059 391,36	4 596 614,23
2012	5	8%	8 699,61	210 414,02	219 113,63	71 188,95	71 188,95	3 016 678,26	2 837 043,87	4 316 046,40	3 087 867,20	2 908 232,81	4 316 046,40
2013	6	8%	23 353,29	228 230,22	251 583,51	63 728,02	63 728,02	2 899 383,67	2 715 165,07	4 060 679,45	2 963 111,69	2 778 893,09	4 060 679,45
2014	7	8%	5 631,35	207 667,52	213 298,87	57 163,97	57 163,97	2 788 286,82	2 605 881,73	3 826 426,13	2 845 450,79	2 663 045,70	3 826 426,13
2015	8	8%	9 989,97	233 617,73	242 607,70	52 066,50	52 066,50	2 683 018,03	2 505 907,54	3 611 965,16	2 735 084,53	2 557 974,04	3 611 965,16
2016	9	8%	12 911,45	227 356,10	240 267,55	47 765,20	47 765,20	2 583 231,12	2 413 322,41	3 414 925,73	2 630 996,32	2 461 087,61	3 414 925,73
2017	10	8%	5 341,50	246 701,09	252 042,59	44 156,13	44 156,13	2 488 601,84	2 326 895,62	3 233 673,85	2 532 757,96	2 371 051,75	3 233 673,85
2018	11	8%	6 150,03	231 854,84	238 004,87	40 985,54	40 985,54	2 398 826,44	2 245 777,75	3 066 578,27	2 439 811,98	2 286 763,29	3 066 578,27
2019	12	8%	11 708,84	203 175,36	214 884,20	38 162,67	38 162,67	2 313 620,33	2 169 346,30	2 912 307,25	2 351 783,00	2 207 508,97	2 912 307,25
2020	13	8%	16 387,70	211 992,84	228 380,54	35 723,97	35 723,97	2 232 716,79	2 097 122,25	2 769 778,51	2 268 440,77	2 132 846,22	2 769 778,51
2021	14	8%	18 882,85	202 990,90	221 873,75	33 557,67	33 557,67	2 155 865,83	2 028 722,09	2 637 871,15	2 189 423,50	2 062 279,75	2 637 871,15
2022	15	8%	19 315,19	402 616,22	421 931,41	31 911,65	31 911,65	2 082 833,09	1 963 828,87	2 515 922,18	2 114 744,73	1 995 740,51	2 515 922,18
2023	16	8%	35 427,92	420 586,58	456 014,50	30 437,11	30 437,11	2 013 398,78	1 902 173,85	2 402 760,03	2 043 835,90	1 932 610,96	2 402 760,03
2024	17	8%	65 414,11	417 297,37	482 711,49	29 098,12	29 098,12	1 947 356,81	1 843 524,49	2 297 605,08	1 976 454,94	1 872 622,61	2 297 605,08
2025	18	8%	121 576,67	430 486,67	552 065,35	27 907,96	27 907,96	1 884 513,84	1 787 676,27	2 199 797,95	1 912 421,80	1 815 584,23	2 199 797,95
2026	19	8%	227 449,38	447 276,68	674 726,06	26 872,20	26 872,20	1 824 688,43	1 734 446,98	2 108 735,34	1 851 560,64	1 761 319,18	2 108 735,34
2027	20	8%	428 287,18	443 109,65	871 396,84	25 995,98	25 995,98	1 767 710,37	1 683 672,60	2 023 870,88	1 793 706,35	1 709 668,58	2 023 870,88
2028	21	8%	811 689,87	440 932,34	1 252 622,21	25 322,34	25 322,34	1 713 419,84	1 635 204,24	1 944 747,65	1 738 742,18	1 660 526,58	1 944 747,65
2029	22	8%	1 548 217,26	435 960,09	1 984 177,35	24 925,40	24 925,40	1 661 666,80	1 588 905,86	1 870 986,25	1 686 592,20	1 613 831,26	1 870 986,25
2030	23	8%	2 971 957,86	429 162,94	3 401 120,80	24 936,70	24 936,70	1 612 310,38	1 544 652,47	1 802 306,47	1 637 247,08	1 569 589,17	1 802 306,47
2031	24	8%	5 741 228,18	421 813,96	6 163 042,14	25 585,01	25 585,01	1 565 218,24	1 502 328,70	1 738 563,00	1 590 803,25	1 527 913,71	1 738 563,00
2032	25	8%	11 160 947,59	415 508,82	11 576 456,42	27 266,20	27 266,20	1 520 266,05	1 461 827,72	1 679 811,56	1 547 532,25	1 489 093,92	1 679 811,56
2033	26	8%	21 833 045,68	412 196,29	22 245 241,97	30 666,61	30 666,61	1 477 336,97	1 423 050,25	1 626 428,94	1 508 003,58	1 453 716,86	1 626 428,94
2034	27	8%	42 976 167,11	414 227,99	43 390 395,11	36 981,98	36 981,98	1 436 321,20	1 385 903,84	1 579 329,00	1 473 303,18	1 422 885,82	1 579 329,00
2035	28	8%	85 118 596,59	424 438,62	85 543 035,21	48 308,66	48 308,66	1 397 115,49	1 350 302,16	1 540 351,13	1 445 424,15	1 398 610,82	1 540 351,13
2036	29	8%	169 624 339,28	446 270,15	170 070 609,43	68 347,07	68 347,07	1 359 622,76	1 316 164,51	1 512 961,38	1 427 969,83	1 384 511,59	1 512 961,38
2037	30	8%	340 096 800,25	483 957,31	340 580 757,56	103 675,51	103 675,51	1 323 751,69	1 283 415,28	1 503 524,03	1 427 427,20	1 387 090,80	1 503 524,03

Diferencialmente do método apresentado anteriormente, agora através da Tabela 4 e Figura 14, não é possível identificar o momento exato para a substituição da Central da Fervença.

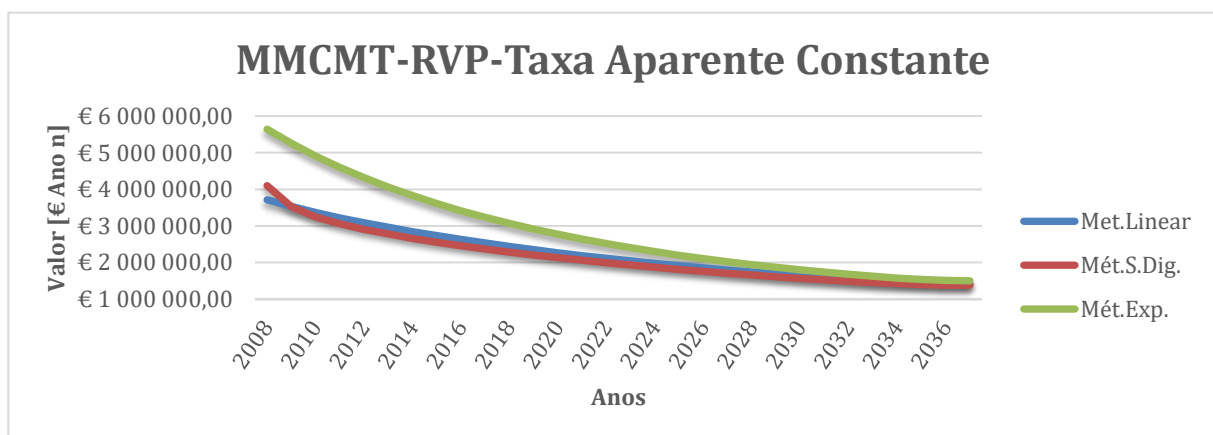


Figura 14 – MMCMT-RVP Taxa Aparente Constante

4.1.3 Modelos de Substituição – Taxa Aparente Anual

Com base nos dados dos valores reais da Central da Fervença, será abordado através dos modelos anteriormente estudados, o ciclo económico de substituição do nosso ativo com influência da taxa aparente.

4.1.3.1 Aplicação do Método da renda Anual Uniforme

O próximo tópico inclui a análise do ciclo de vida do ativo e estudo, através do MRAU com uma taxa aparente anual.

Tabela 5 - MRAU Taxa Aparente Anual

Taxa aparente Anual	Ano	i [%]	CM [€]	CO [€]	Vn [€]			VPL [€ Ano 0]			MRAU [€ Ano 0]		
					Met.Linear	Met.S.Dig.	Mét.Exp.	Met.Linear	Met.S.Dig.	Mét.Exp.	Met.Linear	Met.S.Dig.	Mét.Exp.
2008	1	9%	1 732,01 €	168 378,87 €	170 110,88 €	42 259 019,16 €	41 941 603,13 €	40 176 416,88 €	42 840 385,99 €	42 840 385,99 €	46 683 655,56 €	58 016 850,18 €	77 152 371,07 €
2009	2	4%	6 782,60 €	190 038,53 €	196 821,13 €	41 833 170,48 €	41 850 035,78 €	37 815 379,42 €	42 867 078,80 €	42 867 078,80 €	97 759 323,90 €	57 573 192,19 €	109 723 032,46 €
2010	3	6%	5 642,83 €	171 409,04 €	177 051,87 €	41 407 321,80 €	41 858 468,42 €	35 593 092,47 €	42 833 253,39 €	42 833 253,39 €	64 660 610,64 €	50 312 495,14 €	84 392 308,16 €
2011	4	10%	9 237,77 €	194 229,43 €	203 467,20 €	40 981 473,13 €	41 866 901,07 €	33 501 402,10 €	42 823 226,77 €	42 823 226,77 €	42 421 919,95 €	47 942 710,64 €	66 943 428,78 €
2012	5	9%	8 699,61 €	210 414,02 €	219 113,63 €	40 555 624,45 €	41 875 333,72 €	31 532 633,57 €	42 826 414,38 €	42 826 414,38 €	45 545 088,12 €	47 190 926,61 €	67 178 028,66 €
2013	6	6%	23 353,29 €	228 230,22 €	251 583,51 €	40 129 775,77 €	41 883 766,37 €	29 679 563,17 €	42 863 873,96 €	42 863 873,96 €	63 453 383,91 €	47 161 674,10 €	78 512 354,89 €
2014	7	5%	5 631,35 €	207 460,52 €	213 298,87 €	39 703 927,09 €	41 892 199,01 €	27 935 391,70 €	42 841 025,60 €	42 841 025,60 €	75 889 868,20 €	46 949 262,12 €	86 363 086,49 €
2015	8	4%	8 989,97 €	233 617,73 €	242 607,70 €	39 278 078,41 €	41 900 631,66 €	26 293 719,51 €	42 857 848,38 €	42 857 848,38 €	77 713 710,93 €	46 628 968,58 €	86 596 540,17 €
2016	9	4%	12 911,45 €	227 356,10 €	240 267,55 €	38 852 229,73 €	41 909 064,31 €	24 748 523,07 €	42 856 940,27 €	42 856 940,27 €	84 751 520,53 €	46 473 255,40 €	90 945 227,73 €
2017	10	4%	5 341,50 €	246 701,09 €	252 042,59 €	38 426 381,06 €	41 917 496,95 €	23 294 132,80 €	42 852 408,99 €	42 852 408,99 €	76 797 809,27 €	45 944 756,47 €	83 892 424,99 €
2018	11	3%	6 150,03 €	231 854,84 €	238 004,87 €	38 000 532,38 €	41 925 929,60 €	21 925 212,31 €	42 849 034,40 €	42 849 034,40 €	87 610 555,02 €	45 964 980,11 €	91 486 396,89 €
2019	12	3%	11 708,84 €	203 175,36 €	214 884,20 €	37 574 683,70 €	41 934 362,25 €	20 636 738,84 €	42 843 030,75 €	42 843 030,75 €	107 792 886,13 €	46 240 761,96 €	106 758 265,88 €
2020	13	2%	16 387,70 €	211 992,84 €	228 380,54 €	37 148 835,02 €	41 942 794,90 €	19 423 984,77 €	42 861 413,43 €	42 861 413,43 €	130 650 189,88 €	46 701 190,15 €	124 584 191,46 €
2021	14	3%	18 882,85 €	202 990,90 €	221 873,75 €	36 722 886,34 €	41 951 227,54 €	18 282 500,31 €	42 824 627,96 €	42 824 627,96 €	83 662 927,38 €	45 248 019,58 €	86 384 692,42 €
2022	15	11%	19 315,19 €	402 616,22 €	421 931,41 €	36 297 137,66 €	41 959 660,19 €	17 208 097,18 €	42 776 575,12 €	42 776 575,12 €	40 968 119,30 €	44 004 545,81 €	51 038 376,81 €
2023	16	9%	35 427,92 €	420 586,58 €	456 014,50 €	35 871 288,99 €	41 968 092,84 €	16 196 833,23 €	42 807 222,71 €	42 807 222,71 €	45 211 034,33 €	44 106 341,49 €	53 774 115,96 €
2024	17	5%	65 414,11 €	417 297,37 €	482 711,49 €	35 445 440,31 €	41 976 525,48 €	15 244 997,98 €	42 902 196,05 €	42 902 196,05 €	61 922 346,51 €	44 604 977,56 €	66 969 697,13 €
2025	18	5%	121 578,67 €	430 486,67 €	552 065,35 €	35 019 591,63 €	41 984 958,13 €	14 349 098,99 €	42 924 531,21 €	42 924 531,21 €	61 611 400,36 €	44 544 363,32 €	66 182 296,06 €
2026	19	5%	227 449,38 €	447 276,68 €	674 726,06 €	34 593 742,95 €	41 993 390,78 €	13 505 849,08 €	42 967 639,67 €	42 967 639,67 €	61 348 542,09 €	44 527 684,87 €	65 483 168,32 €
2027	20	5%	428 287,18 €	443 109,65 €	871 396,84 €	34 167 894,27 €	42 001 823,43 €	12 712 154,22 €	43 037 148,53 €	43 037 148,53 €	61 059 980,33 €	44 558 878,51 €	64 807 564,51 €
2028	21	11%	811 689,87 €	440 932,34 €	1 252 622,21 €	33 742 045,59 €	42 010 256,07 €	11 965 102,23 €	42 832 726,52 €	42 832 726,52 €	41 483 088,18 €	43 485 717,65 €	47 557 721,32 €
2029	22	9%	1 548 217,26 €	435 960,09 €	1 984 177,35 €	33 316 196,92 €	42 018 688,72 €	11 261 952,05 €	43 009 928,23 €	43 009 928,23 €	44 727 005,17 €	43 810 717,85 €	49 921 296,76 €
2030	23	5%	2 971 957,86 €	429 162,94 €	3 401 120,80 €	32 890 348,24 €	42 027 121,37 €	10 600 123,73 €	43 840 264,65 €	43 840 264,65 €	58 857 298,38 €	45 504 107,05 €	61 936 888,24 €
2031	24	5%	5 741 228,18 €	421 813,36 €	6 163 042,14 €	32 464 499,56 €	42 035 554,01 €	9 977 188,91 €	44 710 730,69 €	44 710 730,69 €	59 897 643,25 €	46 738 470,95 €	62 681 411,78 €
2032	25	5%	11 160 947,59 €	415 508,82 €	11 576 456,42 €	32 038 650,88 €	42 043 986,66 €	9 390 861,94 €	46 371 360,29 €	46 371 360,29 €	60 086 159,75 €	49 115 044,77 €	64 599 381,66 €
2033	26	5%	21 833 045,68 €	412 196,29 €	22 245 241,97 €	31 612 802,20 €	42 052 419,31 €	8 838 991,50 €	49 538 358,84 €	49 538 358,84 €	66 352 744,23 €	53 626 209,52 €	68 626 233,41 €
2034	27	11%	42 976 167,11 €	414 227,99 €	43 390 355,11 €	31 186 953,52 €	42 060 851,95 €	8 319 552,70 €	45 466 406,40 €	45 466 406,40 €	44 713 963,88 €	46 013 447,80 €	48 340 455,45 €
2035	28	9%	85 118 596,59 €	424 438,62 €	85 543 035,21 €	30 761 104,84 €	42 069 284,60 €	7 830 639,62 €	51 241 624,79 €	51 241 624,79 €	53 429 137,21 €	52 709 104,56 €	56 547 233,36 €
2036	29	5%	169 624 339,28 €	446 270,15 €	170 070 609,43 €	30 335 256,17 €	42 077 717,25 €	7 370 458,38 €	86 278 094,28 €	86 278 094,28 €	113 013 014,08 €	102 763 287,25 €	114 873 281,36 €
2037	30	5%	340 096 800,25 €	483 957,31 €	340 580 757,56 €	29 909 407,49 €	42 086 149,90 €	6 937 320,49 €	127 454 195,21 €	127 454 195,21 €	167 689 238,54 €	157 582 259,77 €	169 367 231,10 €

Através da implementação da taxa aparente anual, ocorre uma maior variação no valor da RAU conforme a Tabela 5 e Figura 15. O que traduz numa correlação entre o aumento da taxa aparente com a diminuição da Renda Anual Uniforme.

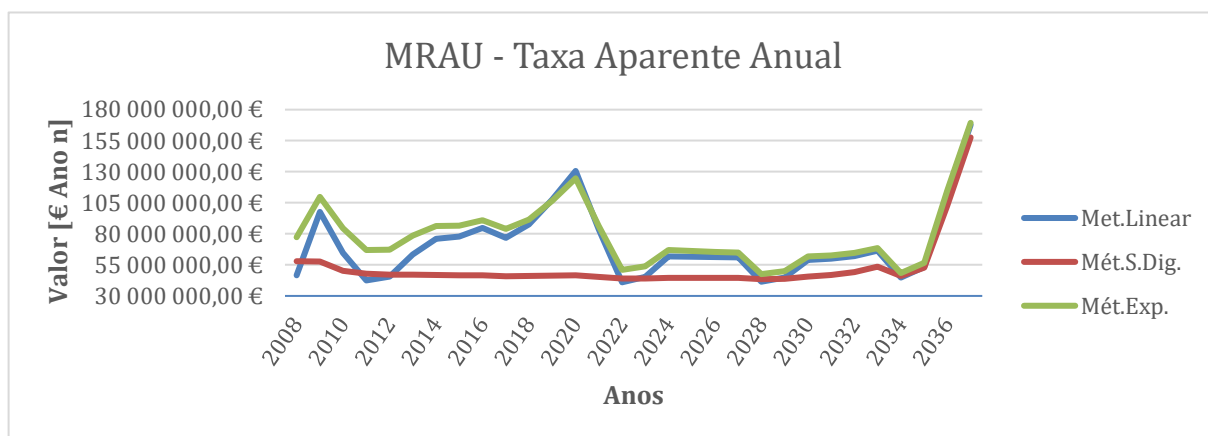


Figura 15 - MRAU Taxa Aparente Anual

4.1.3.2 Aplicação do Método da Minimização do Custo Médio Total com Redução ao Valor Presente

Conforme o caso anterior, o momento de substituição da Central da Fervença, será calculado através do MMCMT-RVP com uma taxa aparente anual.

Tabela 6 - MMCMT-RVP Taxa Aparente Anual

Taxa aparente Anual	Ano	i _a [%]	CM [€]	CO [€]	C' [€]			C'' [€ Ano 0]			MMCMT-RVP [€ Ano 0]		
					Met.Linear	Mét.S.Dig.	Mét.Exp.	Met.Linear	Mét.S.Dig.	Mét.Exp.	Met.Linear	Mét.S.Dig.	Mét.Exp.
					155 418,15 €	155 418,15 €	155 418,15 €	4 075 824,12 €	4 457 187,30 €	5 978 548,90 €	4 231 242,27 €	4 612 605,45 €	6 133 967,04 €
2008	1	9%	1 732,01 €	168 378,87 €	170 110,88 €	155 418,15 €	155 418,15 €	155 418,15 €	4 075 824,12 €	4 457 187,30 €	5 978 548,90 €	4 231 242,27 €	4 612 605,45 €
2009	2	4%	6 782,60 €	190 038,53 €	196 821,13 €	123 261,81 €	123 261,81 €	123 261,81 €	1 978 501,75 €	1 970 695,06 €	3 838 275,53 €	2 101 763,56 €	2 093 956,88 €
2010	3	6%	5 642,83 €	171 409,04 €	177 051,87 €	98 661,82 €	98 661,82 €	98 661,82 €	2 660 590,58 €	2 534 556,63 €	4 284 874,65 €	2 759 252,40 €	2 633 218,46 €
2011	4	10%	9 237,77 €	194 229,43 €	203 467,20 €	82 643,80 €	82 643,80 €	82 643,80 €	3 704 304,36 €	3 553 780,26 €	4 975 927,78 €	3 786 948,16 €	3 636 424,06 €
2012	5	9%	8 699,61 €	210 414,02 €	219 113,63 €	71 776,90 €	71 776,90 €	71 776,90 €	3 297 218,75 €	3 126 713,35 €	4 462 982,08 €	3 368 995,65 €	3 198 490,25 €
2013	6	6%	23 353,29 €	228 230,22 €	251 583,51 €	64 786,48 €	64 786,48 €	64 786,48 €	2 355 303,70 €	2 147 304,47 €	3 594 555,57 €	2 420 090,18 €	2 212 090,95 €
2014	7	5%	5 631,35 €	207 667,52 €	213 298,87 €	58 718,16 €	58 718,16 €	58 718,16 €	1 945 330,62 €	1 716 466,21 €	3 176 164,36 €	2 004 048,78 €	1 775 184,37 €
2015	8	4%	8 989,97 €	233 617,73 €	242 607,70 €	54 081,21 €	54 081,21 €	54 081,21 €	1 834 924,37 €	1 601 187,61 €	2 992 163,74 €	1 889 005,58 €	1 655 268,83 €
2016	9	4%	12 911,45 €	227 356,10 €	240 267,55 €	50 196,54 €	50 196,54 €	50 196,54 €	1 651 118,16 €	1 407 872,22 €	2 773 412,90 €	1 701 314,70 €	1 458 068,76 €
2017	10	4%	5 341,50 €	246 701,09 €	252 042,59 €	46 852,30 €	46 852,30 €	46 852,30 €	1 714 156,49 €	1 482 090,32 €	2 720 047,73 €	1 761 008,79 €	1 528 942,62 €
2018	11	3%	6 150,03 €	231 854,84 €	238 004,87 €	43 949,74 €	43 949,74 €	43 949,74 €	1 497 597,18 €	1 251 452,88 €	2 505 609,42 €	1 541 546,93 €	1 295 402,63 €
2019	12	3%	11 708,84 €	203 175,36 €	214 884,20 €	41 385,62 €	41 385,62 €	41 385,62 €	1 252 373,08 €	984 965,70 €	2 291 287,18 €	1 293 758,70 €	1 026 351,32 €
2020	13	2%	16 387,70 €	211 992,84 €	228 380,54 €	39 246,76 €	39 246,76 €	39 246,76 €	1 074 431,55 €	789 363,32 €	2 128 422,76 €	1 113 678,31 €	828 610,08 €
2021	14	3%	18 882,85 €	202 990,90 €	221 873,75 €	37 156,48 €	37 156,48 €	37 156,48 €	1 396 625,20 €	1 161 388,58 €	2 226 326,33 €	1 433 781,68 €	1 198 545,06 €
2022	15	11%	19 315,19 €	402 616,22 €	421 931,41 €	35 086,97 €	35 086,97 €	35 086,97 €	2 319 709,56 €	2 237 659,18 €	2 596 311,21 €	2 272 746,15 €	2 631 398,18 €
2023	16	9%	35 427,92 €	420 586,58 €	456 014,50 €	33 371,98 €	33 371,98 €	33 371,98 €	2 066 257,20 €	1 964 016,26 €	2 396 189,88 €	2 099 629,18 €	1 997 388,24 €
2024	17	5%	65 414,11 €	417 297,37 €	482 711,49 €	32 160,93 €	32 160,93 €	32 160,93 €	1 572 146,25 €	1 399 178,59 €	2 107 129,80 €	1 604 307,17 €	1 431 339,52 €
2025	18	5%	121 578,67 €	430 486,67 €	552 065,35 €	31 113,91 €	31 113,91 €	31 113,91 €	1 526 784,13 €	1 358 794,43 €	2 025 312,06 €	1 557 898,04 €	1 389 908,34 €
2026	19	5%	227 449,38 €	447 276,68 €	674 726,06 €	30 259,64 €	30 259,64 €	30 259,64 €	1 483 522,67 €	1 320 305,40 €	1 948 667,57 €	1 513 782,31 €	1 350 565,04 €
2027	20	5%	428 287,18 €	443 109,65 €	871 396,84 €	29 627,36 €	29 627,36 €	29 627,36 €	1 443 588,53 €	1 285 236,91 €	1 877 285,47 €	1 473 215,89 €	1 314 864,27 €
2028	21	11%	811 689,87 €	440 932,34 €	1 252 622,21 €	28 551,81 €	28 551,81 €	28 551,81 €	1 842 951,41 €	1 796 476,46 €	1 965 357,87 €	1 871 503,22 €	1 825 028,27 €
2029	22	9%	1 548 217,26 €	435 960,09 €	1 984 177,35 €	27 925,61 €	27 925,61 €	27 925,61 €	1 692 127,24 €	1 627 322,84 €	1 856 357,46 €	1 720 052,85 €	1 655 248,45 €
2030	23	5%	2 971 957,86 €	429 162,94 €	3 401 120,80 €	28 895,57 €	28 895,57 €	28 895,57 €	1 370 072,51 €	1 235 122,13 €	1 699 299,71 €	1 398 968,08 €	1 264 017,70 €
2031	24	5%	5 741 228,18 €	421 813,96 €	6 163 042,14 €	31 208,71 €	31 208,71 €	31 208,71 €	1 333 892,22 €	1 202 804,07 €	1 641 885,46 €	1 365 100,94 €	1 234 012,78 €
2032	25	5%	11 160 947,59 €	415 508,82 €	11 576 456,42 €	35 858,75 €	35 858,75 €	35 858,75 €	1 299 289,71 €	1 171 842,78 €	1 587 774,89 €	1 335 148,46 €	1 207 701,53 €
2033	26	5%	21 833 045,68 €	412 196,29 €	22 245 241,97 €	44 617,87 €	44 617,87 €	44 617,87 €	1 267 128,63 €	1 143 424,01 €	1 536 987,73 €	1 311 746,50 €	1 188 041,88 €
2034	27	11%	42 976 167,11 €	414 227,99 €	43 390 395,11 €	46 780,91 €	46 780,91 €	46 780,91 €	1 506 875,19 €	1 481 057,76 €	1 561 168,28 €	1 553 656,10 €	1 527 838,67 €
2035	28	9%	85 118 596,59 €	424 438,62 €	85 543 035,21 €	56 024,39 €	56 024,39 €	56 024,39 €	1 414 566,97 €	1 374 169,03 €	1 496 484,97 €	1 470 591,36 €	1 430 193,42 €
2036	29	5%	169 624 339,28 €	446 270,15 €	170 070 609,43 €	105 927,51 €	105 927,51 €	105 927,51 €	1 203 765,70 €	1 099 976,80 €	1 406 746,22 €	1 309 693,20 €	1 205 904,31 €
2037	30	5%	340 096 800,25 €	483 957,31 €	340 580 757,56 €	196 584,73 €	196 584,73 €	196 584,73 €	1 174 684,12 €	1 073 659,21 €	1 365 273,12 €	1 371 268,86 €	1 270 243,94 €

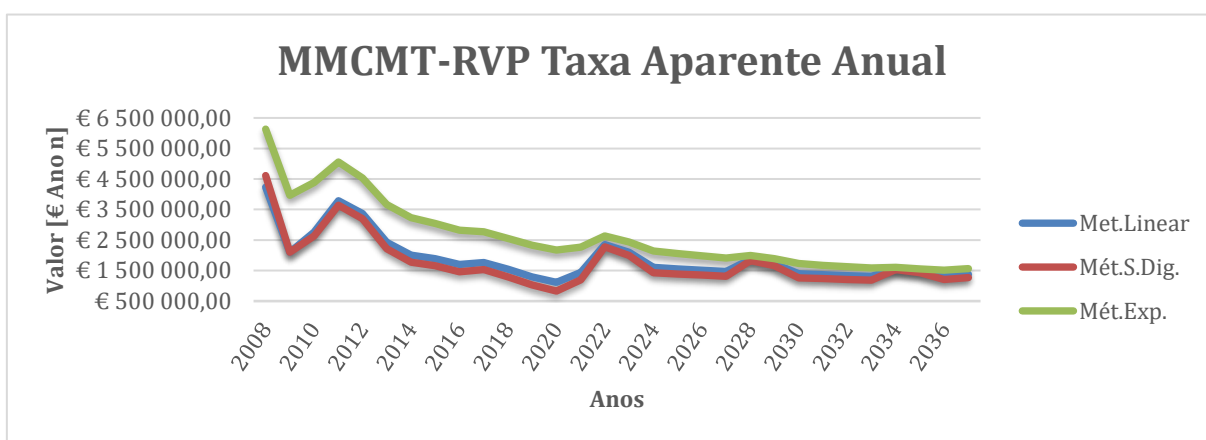


Figura 16 - MMCMT-RVP Taxa Aparente Anual

Conforme o método anterior, ocorre novamente uma maior oscilação no valor da MMCMT-RVP, no entanto é comum aos métodos presentes na Tabela 6 e Figura 16 uma redução do valor no ano 2020. Na qual pode corresponder ao momento coerente para substituição do nosso ativo.

4.1.4 Modelos de substituição – Taxa Aparente Constante com Incremento do Investimento no Ativo

Além das diferenças na taxa aparente, os modelos anteriores têm em comum a ausência do valor do investimento no ativo ao longo dos anos. Deste modo o presente modelo, contempla o incremento do valor do investimento no ativo ao longo do tempo, na qual refere-se a melhorias na Central da Fervença, aumentando o seu valor, como a melhoria das infraestruturas, substituição de equipamentos descontinuados ou com baixa eficiência energética, bem como a adoção de novas metodologias e tecnologias. Este valor será adicionado ao valor do equipamento (V_n).

4.1.4.1 Aplicação do Método da Renda Anual Uniforme (MRAU)

O presente caso inicia a adição do valor do investimento no ativo ao longo do tempo, ao cálculo do MRAU, considerando uma taxa aparente constante de 8%.

Tabela 7 - MRAU com Taxa Aparente Constante e Investimento

					Vn [€]			VPL [€ Ano 0]					
Ano	iA [%]	CM [€]	CO [€]	I1 [€]	Met.Linear	Mét.S.Dig.	Met.Exp.	Met.Linear	Mét.S.Dig.	Met.Exp.	Met.Linear	Mét.S.Dig.	Met.Exp.
2008	1	8%	1 732,01 €	168 378,87 €	170 110,88 €	42 262 051,02 €	41 844 634,99 €	40 179 448,74 €	42 842 377,91 €	42 842 377,91 €	42 842 377,91 €	53 807 313,26 €	59 411 509,98 €
2009	2	8%	6 782,60 €	190 038,53 €	196 821,13 €	41 838 046,74 €	41 854 912,04 €	37 820 255,68 €	42 853 610,24 €	42 853 610,24 €	42 853 610,24 €	52 314 558,43 €	52 206 252,93 €
2010	3	8%	5 642,83 €	171 409,04 €	177 051,87 €	41 414 628,02 €	41 865 774,64 €	35 600 398,69 €	42 825 417,32 €	42 825 417,32 €	42 825 417,32 €	51 322 218,88 €	49 474 797,90 €
2011	4	8%	9 237,77 €	194 229,43 €	203 467,20 €	40 987 326,13 €	41 872 754,07 €	33 507 255,10 €	42 834 422,31 €	42 834 422,31 €	42 834 422,31 €	50 778 347,42 €	48 177 731,79 €
2012	5	8%	8 699,61 €	210 414,02 €	219 113,63 €	40 555 624,45 €	41 875 333,72 €	31 532 633,57 €	42 833 992,89 €	42 833 992,89 €	42 833 992,89 €	50 285 006,22 €	47 319 994,97 €
2013	6	8%	23 353,29 €	228 230,22 €	251 583,51 €	40 141 939,94 €	41 895 930,54 €	29 691 727,34 €	42 843 408,13 €	42 843 408,13 €	42 843 408,13 €	49 838 504,30 €	46 699 134,51 €
2014	7	8%	5 631,35 €	207 667,52 €	213 298,87 €	39 726 091,99 €	41 914 363,91 €	27 957 556,60 €	42 809 325,68 €	42 809 325,68 €	42 809 325,68 €	49 328 572,08 €	46 119 912,93 €
2015	8	8%	8 989,97 €	233 617,73 €	242 607,70 €	39 290 710,68 €	41 913 263,93 €	26 306 351,78 €	42 815 941,23 €	42 815 941,23 €	42 815 941,23 €	48 988 365,14 €	45 773 173,19 €
2016	9	8%	12 911,45 €	227 356,10 €	240 267,55 €	38 852 882,33 €	41 909 716,91 €	24 749 175,67 €	42 805 061,43 €	42 805 061,43 €	42 805 061,43 €	48 632 556,84 €	45 450 220,39 €
2017	10	8%	5 341,50 €	246 701,09 €	252 042,59 €	38 426 743,06 €	41 917 858,95 €	23 294 494,80 €	42 801 612,33 €	42 801 612,33 €	42 801 612,33 €	48 302 466,05 €	45 178 466,76 €
2018	11	8%	6 150,03 €	231 854,84 €	238 004,87 €	38 001 188,39 €	41 926 585,60 €	21 925 868,31 €	42 786 944,05 €	42 786 944,05 €	42 786 944,05 €	47 972 183,10 €	44 923 248,61 €
2019	12	8%	11 708,84 €	203 175,36 €	214 884,20 €	38 937 010,77 €	43 296 689,32 €	21 999 065,91 €	42 770 201,31 €	42 770 201,31 €	42 770 201,31 €	46 734 060,68 €	43 771 163,72 €
2020	13	8%	16 387,70 €	211 992,84 €	228 380,54 €	37 153 219,53 €	41 947 179,41 €	19 428 369,28 €	42 768 842,89 €	42 768 842,89 €	42 768 842,89 €	47 388 596,46 €	44 518 795,28 €
2021	14	8%	18 882,85 €	202 990,90 €	221 873,75 €	36 832 337,82 €	42 060 579,02 €	18 391 851,79 €	42 760 407,21 €	42 760 407,21 €	42 760 407,21 €	47 068 548,52 €	44 296 165,76 €
2022	15	8%	19 315,19 €	402 616,22 €	421 931,41 €	36 297 387,66 €	41 959 910,19 €	17 208 347,18 €	42 817 878,22 €	42 817 878,22 €	42 817 878,22 €	46 975 254,69 €	44 302 660,03 €
2023	16	8%	35 427,92 €	420 586,58 €	456 014,50 €	35 874 788,99 €	41 971 592,84 €	16 200 333,23 €	42 817 974,13 €	42 817 974,13 €	42 817 974,13 €	46 746 715,96 €	44 174 861,35 €
2024	17	8%	65 414,11 €	427 297,37 €	482 711,49 €	35 447 440,31 €	41 978 525,48 €	15 246 997,98 €	42 815 329,77 €	42 815 329,77 €	42 815 329,77 €	46 528 893,25 €	44 057 688,61 €
2025	18	8%	121 578,67 €	430 486,67 €	552 065,35 €	35 027 441,63 €	41 992 808,13 €	14 356 948,99 €	42 823 021,66 €	42 823 021,66 €	42 823 021,66 €	46 334 405,71 €	43 962 988,37 €
2026	19	8%	227 449,38 €	447 276,68 €	674 726,06 €	34 616 742,95 €	42 016 390,78 €	13 528 849,08 €	42 841 210,01 €	42 841 210,01 €	42 841 210,01 €	46 161 797,21 €	43 888 728,95 €
2027	20	8%	428 387,18 €	443 109,65 €	871 396,84 €	34 168 244,27 €	42 002 173,43 €	12 712 504,22 €	42 871 824,47 €	42 871 824,47 €	42 871 824,47 €	46 025 881,42 €	43 849 295,00 €
2028	21	8%	811 689,87 €	440 932,34 €	1 252 622,21 €	33 743 020,59 €	42 011 231,07 €	11 966 077,23 €	42 933 708,44 €	42 933 708,44 €	42 933 708,44 €	45 909 640,34 €	43 848 350,07 €
2029	22	8%	1 548 217,26 €	435 960,09 €	1 984 177,35 €	33 317 432,59 €	42 019 924,39 €	11 263 187,72 €	43 049 838,43 €	43 049 838,43 €	43 049 838,43 €	45 909 300,46 €	43 918 886,71 €
2030	23	8%	2 971 957,86 €	429 162,94 €	3 401 120,80 €	32 891 807,24 €	42 028 580,37 €	10 601 582,73 €	43 264 130,70 €	43 264 130,70 €	43 264 130,70 €	46 011 825,58 €	44 110 700,09 €
2031	24	8%	5 741 228,18 €	421 813,96 €	6 163 042,14 €	32 472 322,68 €	42 043 377,13 €	9 985 012,03 €	43 656 775,50 €	43 656 775,50 €	43 656 775,50 €	46 327 968,72 €	44 513 425,67 €
2032	25	8%	11 160 947,59 €	415 508,82 €	11 576 456,42 €	32 039 588,81 €	42 044 924,59 €	9 391 799,87 €	44 375 237,75 €	44 375 237,75 €	44 375 237,75 €	47 027 450,36 €	45 296 706,52 €
2033	26	8%	21 833 045,68 €	412 196,29 €	22 245 241,97 €	31 615 198,20 €	42 054 815,31 €	8 841 387,50 €	45 692 463,79 €	45 692 463,79 €	45 692 463,79 €	48 411 311,18 €	46 761 537,77 €
2034	27	8%	42 976 167,11 €	414 227,99 €	43 390 395,11 €	31 193 076,52 €	42 066 974,95 €	8 325 675,70 €	48 116 773,35 €	48 116 773,35 €	48 116 773,35 €	51 044 715,79 €	49 473 063,91 €
2035	28	8%	85 118 596,59 €	424 438,62 €	85 543 035,21 €	30 765 604,84 €	42 073 784,60 €	7 835 139,62 €	52 600 479,33 €	52 600 479,33 €	52 600 479,33 €	55 977 594,98 €	54 481 216,01 €
2036	29	8%	169 624 339,28 €	446 270,15 €	170 070 609,43 €	30 336 491,17 €	42 078 952,25 €	7 371 093,38 €	60 938 124,43 €	60 938 124,43 €	60 938 124,43 €	65 172 226,56 €	63 748 290,51 €
2037	30	8%	340 096 800,25 €	483 957,31 €	340 580 757,56 €	29 910 339,49 €	42 087 081,90 €	6 938 252,49 €	76 530 875,04 €	76 530 875,04 €	76 530 875,04 €	82 324 453,40 €	80 970 154,11 €

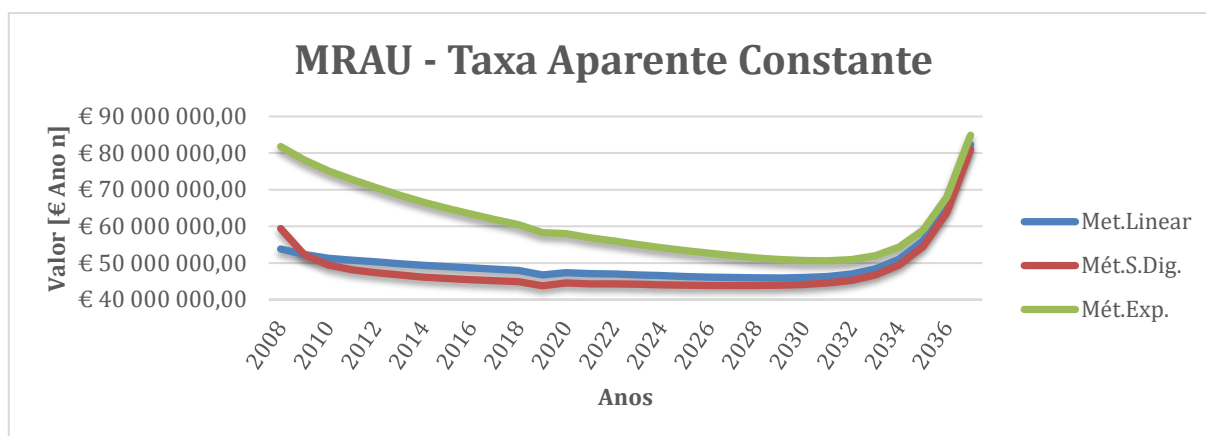


Figura 17 - MRAU com Taxa Aparente Constante e Investimento

Através da Tabela 7 e da Figura 17, é possível detetar que a renda anual uniforme contém um ligeiro declínio, verificando-se uma pequena depressão no ano de 2019 correspondente ao valor de investimento nesse ano.

4.1.4.2 Aplicação do Método da Minimização do Custo Médio Total com Redução ao Valor Presente (MMCMT-RVP)

Com base nos dados anteriores, mas agora através do MMCMT-RVP, será analisado o ciclo de substituição da Central da Fervença com incremento do valor do investimento no ativo ao longo do tempo e taxa aparente constante de 8%.

Tabela 8 - MMCMT-RVP Taxa Constante com Investimento

						C' [€]			C' [€ Ano 0]			MMCMT-RVP [€ Ano 0]			
	Ano j	ia [%]	CM [€]	CO [€]	Σ1 [€]	Met.Linear	Mét.S.Dig.	Mét.Exp.	Met.Linear	Mét.S.Dig.	Mét.Exp.	Met.Linear	Mét.S.Dig.	Mét.Exp.	
Taxa aparente Fixa	2008	1	8%	1 732,01 €	168 378,87 €	170 110,88 €	157 510,07 €	157 510,07 €	157 510,07 €	3 553 339,12 €	3 939 835,44 €	5 481 674,57 €	3 710 849,19 €	4 097 345,52 €	5 639 184,64 €
	2009	2	8%	6 782,60 €	190 038,53 €	196 821,13 €	120 940,64 €	120 940,64 €	120 940,64 €	3 407 743,10 €	3 400 513,47 €	5 130 047,22 €	3 528 683,74 €	3 521 454,10 €	5 250 987,86 €
	2010	3	8%	5 642,83 €	171 409,04 €	177 051,87 €	96 243,70 €	96 243,70 €	96 243,70 €	3 269 533,62 €	3 150 155,38 €	4 808 041,19 €	3 365 777,32 €	3 246 399,08 €	4 904 284,89 €
	2011	4	8%	9 237,77 €	194 229,43 €	203 467,20 €	81 529,93 €	81 529,93 €	81 529,93 €	3 139 489,89 €	2 976 785,89 €	4 514 008,76 €	3 221 019,82 €	3 058 315,82 €	4 595 538,69 €
	2012	5	8%	8 699,61 €	210 414,02 €	219 113,63 €	71 188,95 €	71 188,95 €	71 188,95 €	3 016 678,26 €	2 837 043,87 €	4 244 857,45 €	3 087 867,20 €	2 908 232,81 €	4 316 046,40 €
	2013	6	8%	23 353,29 €	228 230,22 €	251 583,51 €	63 728,02 €	63 728,02 €	63 728,02 €	2 898 106,09 €	2 713 887,49 €	3 995 673,85 €	2 961 834,11 €	2 777 615,51 €	4 059 401,87 €
	2014	7	8%	5 631,35 €	207 667,52 €	213 298,87 €	57 163,97 €	57 163,97 €	57 163,97 €	2 786 439,25 €	2 604 034,15 €	3 767 414,58 €	2 843 603,22 €	2 661 198,12 €	3 824 578,56 €
	2015	8	8%	8 989,97 €	233 617,73 €	242 607,70 €	52 066,50 €	52 066,50 €	52 066,50 €	2 682 164,93 €	2 505 054,44 €	3 559 045,56 €	2 734 231,42 €	2 557 120,93 €	3 611 112,06 €
	2016	9	8%	12 911,45 €	227 356,10 €	240 267,55 €	47 765,20 €	47 765,20 €	47 765,20 €	2 583 194,84 €	2 413 286,14 €	3 367 124,25 €	2 630 960,04 €	2 461 051,34 €	3 414 889,45 €
	2017	10	8%	5 341,50 €	246 701,09 €	252 042,59 €	44 156,13 €	44 156,13 €	44 156,13 €	2 488 585,07 €	2 326 878,85 €	3 189 500,95 €	2 532 741,20 €	2 371 034,98 €	3 233 657,08 €
	2018	11	8%	6 150,03 €	231 854,84 €	238 004,87 €	40 985,54 €	40 985,54 €	40 985,54 €	2 398 800,86 €	2 245 752,18 €	3 025 567,16 €	2 439 786,40 €	2 286 737,71 €	3 066 552,70 €
	2019	12	8%	11 708,84 €	203 175,36 €	214 884,20 €	38 162,67 €	38 162,67 €	38 162,67 €	2 268 537,10 €	2 124 263,07 €	2 829 061,34 €	2 306 699,77 €	2 162 425,74 €	2 867 224,01 €
	2020	13	8%	16 387,70 €	211 992,84 €	228 380,54 €	35 723,97 €	35 723,97 €	35 723,97 €	2 232 592,78 €	2 096 998,23 €	2 733 930,52 €	2 268 316,75 €	2 132 722,21 €	2 769 654,50 €
	2021	14	8%	18 882,85 €	202 990,90 €	221 873,75 €	33 557,67 €	33 557,67 €	33 557,67 €	2 153 206,55 €	2 026 062,81 €	2 601 654,20 €	2 186 764,22 €	2 059 620,47 €	2 635 211,87 €
	2022	15	8%	19 315,19 €	402 616,22 €	421 931,41 €	31 911,65 €	31 911,65 €	31 911,65 €	2 082 827,83 €	1 963 823,61 €	2 484 005,28 €	2 114 739,48 €	1 995 735,26 €	2 515 916,92 €
	2023	16	8%	35 427,92 €	420 586,58 €	456 014,50 €	30 437,11 €	30 437,11 €	30 437,11 €	2 013 334,93 €	1 902 110,00 €	2 372 259,06 €	2 043 772,05 €	1 932 547,11 €	2 402 696,18 €
	2024	17	8%	65 414,11 €	417 297,37 €	482 711,49 €	29 098,12 €	29 098,12 €	29 098,12 €	1 947 325,02 €	1 843 492,69 €	2 268 475,16 €	1 976 423,14 €	1 872 590,81 €	2 297 573,28 €
	2025	18	8%	121 578,67 €	430 486,67 €	552 065,35 €	27 907,96 €	27 907,96 €	27 907,96 €	1 884 404,70 €	1 787 567,13 €	2 171 780,85 €	1 912 312,66 €	1 815 475,09 €	2 199 688,81 €
	2026	19	8%	227 449,38 €	447 276,68 €	674 726,06 €	26 872,20 €	26 872,20 €	26 872,20 €	1 824 407,94 €	1 734 166,48 €	2 081 582,65 €	1 851 280,14 €	1 761 038,69 €	2 108 454,85 €
	2027	20	8%	428 287,18 €	443 109,65 €	871 396,84 €	25 995,98 €	25 995,98 €	25 995,98 €	1 767 706,61 €	1 683 668,84 €	1 997 871,14 €	1 793 702,60 €	1 709 664,82 €	2 023 867,12 €
	2028	21	8%	811 689,87 €	440 932,34 €	1 252 622,21 €	25 322,34 €	25 322,34 €	25 322,34 €	1 713 410,61 €	1 635 195,02 €	1 919 416,09 €	1 738 732,95 €	1 660 517,36 €	1 944 738,43 €
	2029	22	8%	1 548 217,26 €	435 960,09 €	1 984 177,35 €	24 925,40 €	24 925,40 €	24 925,40 €	1 661 656,47 €	1 588 895,53 €	1 846 050,52 €	1 686 581,87 €	1 613 820,93 €	1 870 975,92 €
	2030	23	8%	2 971 957,86 €	429 162,94 €	3 401 120,80 €	24 936,70 €	24 936,70 €	24 936,70 €	1 612 299,58 €	1 544 641,66 €	1 777 358,97 €	1 637 236,28 €	1 569 578,36 €	1 802 295,67 €
	2031	24	8%	5 741 228,18 €	421 813,96 €	6 163 042,14 €	25 585,01 €	25 585,01 €	25 585,01 €	1 565 166,84 €	1 502 277,30 €	1 712 926,59 €	1 590 751,85 €	1 527 862,31 €	1 738 511,60 €
	2032	25	8%	11 160 947,59 €	415 508,82 €	11 576 456,42 €	27 266,20 €	27 266,20 €	27 266,20 €	1 520 260,57 €	1 461 822,24 €	1 652 539,88 €	1 547 526,77 €	1 489 088,44 €	1 679 806,08 €
	2033	26	8%	21 833 045,68 €	412 196,29 €	22 245 241,97 €	30 666,61 €	30 666,61 €	30 666,61 €	1 477 324,51 €	1 423 037,79 €	1 595 749,87 €	1 507 991,12 €	1 453 704,40 €	1 626 416,48 €
	2034	27	8%	42 976 167,11 €	414 227,99 €	43 390 395,11 €	36 981,98 €	36 981,98 €	36 981,98 €	1 436 292,81 €	1 385 875,45 €	1 542 318,63 €	1 473 274,79 €	1 422 857,43 €	1 579 300,61 €
	2035	28	8%	85 118 596,59 €	424 438,62 €	85 543 035,21 €	48 308,66 €	48 308,66 €	48 308,66 €	1 397 096,86 €	1 350 283,53 €	1 492 023,84 €	1 445 405,52 €	1 398 592,19 €	1 540 332,51 €
	2036	29	8%	169 624 339,28 €	446 270,15 €	170 070 609,43 €	68 347,07 €	68 347,07 €	68 347,07 €	1 359 618,19 €	1 316 159,94 €	1 444 609,73 €	1 427 965,26 €	1 384 507,01 €	1 512 956,81 €
	2037	30	8%	340 096 800,25 €	483 957,31 €	340 580 757,56 €	103 675,51 €	103 675,51 €	103 675,51 €	1 323 748,60 €	1 283 412,20 €	1 399 845,43 €	1 427 424,12 €	1 387 087,71 €	1 503 520,94 €

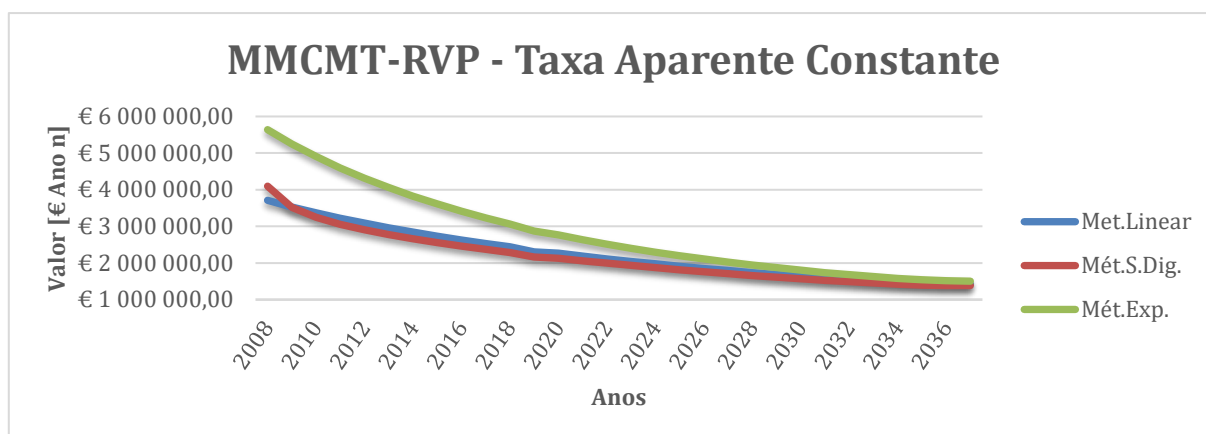


Figura 18 - MMCMT-RVP Taxa Aparente Constante com Investimento

O presente método com as alterações mencionadas anteriormente, apresenta um resultado similar ao da Secção 4.1.2.2, isto é, através da Tabela 8 e Figura 18 não se deteta o menor custo médio de posse do ativo.

4.1.5 Modelos de Substituição – Taxa Aparente Anual com Incremento do Investimento no Ativo

Através dos modelos já utilizados, será estudado o comportamento do modelo com alteração para uma taxa aparente anual e valor do investimento correspondente, determinando o ciclo económico de substituição do ativo escolhido.

4.1.5.1 Aplicação do Método da Renda Anual Uniforme

Com base no MRAU será exposto o cálculo de substituição da Central da Fervença

Tabela 9 - MRAU Taxa Aparente Anual com Investimento

Taxa aparente Anual						Vn [€]			VPI [€ Ano 0]			MRAU [€ Ano 0]			
	Ano [j]	ia [%]	CM [€]	CO [€]	Σi [€]	Met.Linear	Met.S.Dig.	Met.Exp.	Met.Linear	Met.S.Dig.	Met.Exp.	Met.Linear	Met.S.Dig.	Met.Exp.	
	2008	1	9%	1 732,01 €	168 378,87 €	170 110,88 €	42 262 051,02 €	41 844 634,99 €	40 179 448,74 €	42 840 285,99 €	42 840 285,99 €	42 840 285,99 €	46 648 345,93 €	57 982 009,50 €	77 117 530,39 €
	2009	2	4%	6 782,60 €	190 038,53 €	196 821,13 €	41 838 046,74 €	41 854 912,04 €	37 820 255,68 €	42 867 078,80 €	42 867 078,80 €	42 867 078,80 €	97 700 954,80 €	57 510 164,23 €	109 660 004,50 €
	2010	3	6%	5 642,83 €	171 409,04 €	177 051,87 €	41 414 628,02 €	41 865 774,64 €	35 600 398,69 €	42 833 253,39 €	42 833 253,39 €	42 833 253,39 €	64 622 967,96 €	50 272 753,78 €	84 352 566,79 €
	2011	4	10%	9 237,77 €	194 229,43 €	203 467,20 €	40 987 326,13 €	41 872 754,07 €	33 507 255,10 €	42 823 226,77 €	42 823 226,77 €	42 823 226,77 €	42 407 550,21 €	47 929 416,60 €	66 930 134,75 €
	2012	5	9%	8 699,61 €	210 414,02 €	219 113,63 €	40 555 624,45 €	41 875 333,72 €	31 532 633,57 €	42 826 414,38 €	42 826 414,38 €	42 826 414,38 €	45 545 088,12 €	47 190 926,61 €	67 178 028,66 €
	2013	6	6%	23 353,29 €	228 230,22 €	251 583,51 €	40 141 939,94 €	41 895 930,54 €	29 691 727,34 €	42 863 873,96 €	42 863 873,96 €	42 863 873,96 €	63 425 708,64 €	47 130 426,26 €	78 481 107,04 €
	2014	7	5%	5 631,35 €	207 667,52 €	213 298,87 €	39 726 091,99 €	41 914 363,91 €	27 957 556,60 €	42 841 025,60 €	42 841 025,60 €	42 841 025,60 €	75 839 981,25 €	46 886 668,76 €	86 300 493,13 €
	2015	8	4%	9 989,97 €	233 617,73 €	242 607,70 €	39 290 710,88 €	41 913 263,93 €	26 306 351,78 €	42 857 848,38 €	42 857 848,38 €	42 857 848,38 €	77 689 198,37 €	46 596 618,73 €	86 564 190,32 €
	2016	9	4%	12 911,45 €	227 356,10 €	240 267,55 €	38 852 882,33 €	41 909 716,91 €	24 749 175,67 €	42 856 940,27 €	42 856 940,27 €	42 856 940,27 €	84 750 339,19 €	46 471 564,17 €	90 943 536,50 €
	2017	10	4%	5 341,50 €	246 701,09 €	252 042,59 €	38 426 743,06 €	41 917 858,95 €	23 294 494,80 €	42 852 408,99 €	42 852 408,99 €	42 852 408,99 €	76 797 295,29 €	45 944 018,84 €	83 891 687,37 €
	2018	11	3%	6 150,03 €	231 854,84 €	238 004,87 €	38 001 188,38 €	41 926 585,60 €	21 925 868,31 €	42 849 034,40 €	42 849 034,40 €	42 849 034,40 €	87 609 626,67 €	45 963 487,06 €	91 484 903,84 €
	2019	12	3%	11 708,84 €	203 175,36 €	214 884,20 €	38 937 010,77 €	43 296 689,32 €	21 999 065,91 €	42 843 030,75 €	42 843 030,75 €	42 843 030,75 €	105 704 330,67 €	42 369 689,96 €	102 887 193,87 €
	2020	13	2%	16 387,70 €	211 992,84 €	228 380,54 €	37 153 219,53 €	41 947 179,41 €	19 428 369,28 €	42 861 413,43 €	42 861 413,43 €	42 861 413,43 €	130 642 976,95 €	46 686 025,99 €	124 569 027,30 €
	2021	14	3%	18 882,85 €	202 990,90 €	221 873,75 €	36 832 337,82 €	42 060 579,02 €	18 391 851,79 €	42 824 627,96 €	42 824 627,96 €	42 824 627,96 €	83 560 204,08 €	45 057 964,74 €	86 194 637,59 €
	2022	15	11%	19 315,19 €	402 616,22 €	421 931,41 €	36 297 387,66 €	41 959 910,19 €	17 208 347,18 €	42 862 706,86 €	42 862 706,86 €	42 862 706,86 €	41 080 629,80 €	44 004 474,77 €	51 038 305,77 €
	2023	16	9%	35 427,92 €	420 586,58 €	456 014,50 €	35 874 788,99 €	41 971 592,84 €	16 200 333,23 €	42 807 222,71 €	42 807 222,71 €	42 807 222,71 €	45 676 106,29 €	44 105 028,51 €	53 772 802,98 €
	2024	17	5%	65 414,11 €	417 297,37 €	482 711,49 €	35 447 440,31 €	41 978 525,48 €	15 246 997,98 €	42 802 196,05 €	42 802 196,05 €	42 802 196,05 €	62 414 198,54 €	44 603 304,28 €	66 968 023,85 €
	2025	18	5%	121 578,67 €	430 486,67 €	552 065,35 €	35 027 441,63 €	41 992 808,13 €	14 356 948,99 €	42 824 531,21 €	42 824 531,21 €	42 824 531,21 €	62 171 294,37 €	44 538 217,04 €	66 176 149,78 €
	2026	19	5%	227 449,38 €	447 276,68 €	674 726,06 €	34 616 742,95 €	42 016 390,78 €	13 528 849,08 €	43 259 593,90 €	43 259 593,90 €	43 259 593,90 €	62 967 639,67 €	44 510 766,03 €	65 466 249,48 €
	2027	20	5%	428 287,18 €	443 109,65 €	871 396,84 €	34 168 244,27 €	42 002 173,43 €	12 712 504,22 €	43 556 264,68 €	43 556 264,68 €	43 556 264,68 €	61 937 148,53 €	44 558 636,55 €	64 807 322,55 €
	2028	21	11%	811 689,87 €	440 932,34 €	1 252 622,21 €	33 743 020,59 €	42 011 231,07 €	11 966 077,23 €	42 832 726,52 €	42 832 726,52 €	42 832 726,52 €	42 751 324,56 €	43 485 585,51 €	47 557 589,18 €
	2029	22	9%	1 548 217,26 €	435 960,09 €	1 984 177,35 €	33 317 432,59 €	42 019 924,39 €	11 263 187,72 €	44 669 045,19 €	43 009 928,23 €	43 009 928,23 €	46 738 764,55 €	43 810 472,35 €	49 921 051,26 €
	2030	23	5%	2 971 957,86 €	429 162,94 €	3 401 120,80 €	32 891 807,24 €	42 028 580,37 €	10 601 582,73 €	46 085 988,64 €	43 840 264,65 €	43 840 264,65 €	62 313 566,23 €	45 503 344,16 €	61 936 125,35 €
	2031	24	5%	5 741 228,18 €	421 813,96 €	6 163 042,14 €	32 472 322,68 €	42 043 377,13 €	9 985 012,03 €	48 847 909,98 €	44 710 730,69 €	44 710 730,69 €	66 154 943,24 €	46 734 580,43 €	62 677 521,26 €
	2032	25	5%	11 160 947,59 €	415 508,82 €	11 576 456,42 €	32 039 588,81 €	42 044 924,59 €	9 391 799,87 €	54 261 324,26 €	46 371 360,29 €	46 371 360,29 €	73 835 071,38 €	49 114 600,00 €	64 598 936,89 €
	2033	26	5%	21 833 045,88 €	412 196,29 €	22 245 241,97 €	31 615 198,20 €	42 054 815,31 €	8 841 387,50 €	64 390 109,81 €	49 538 358,84 €	49 538 358,84 €	88 914 595,26 €	53 623 127,42 €	88 625 151,32 €
	2034	27	11%	42 976 167,11 €	414 227,99 €	43 390 395,11 €	31 193 076,52 €	42 066 974,95 €	8 325 675,70 €	86 075 262,95 €	45 466 406,40 €	45 466 406,40 €	88 401 453,81 €	46 013 025,52 €	48 340 033,18 €
	2035	28	9%	85 118 596,59 €	424 438,62 €	85 543 035,21 €	30 765 604,84 €	42 073 784,60 €	7 835 139,62 €	128 227 903,05 €	51 241 624,79 €	51 241 624,79 €	139 704 901,93 €	52 708 600,11 €	56 546 728,91 €
	2036	29	5%	169 624 339,28 €	446 270,15 €	170 070 609,43 €	30 336 491,17 €	42 078 952,25 €	7 371 693,38 €	212 755 477,27 €	86 278 094,28 €	86 278 094,28 €	285 178 064,13 €	102 762 856,33 €	114 872 850,44 €
	2037	30	5%	340 096 800,25 €	483 957,31 €	340 580 757,56 €	29 910 339,49 €	42 087 081,90 €	6 938 252,49 €	383 265 625,40 €	127 454 195,21 €	127 454 195,21 €	512 292 045,55 €	157 581 947,28 €	169 366 918,62 €

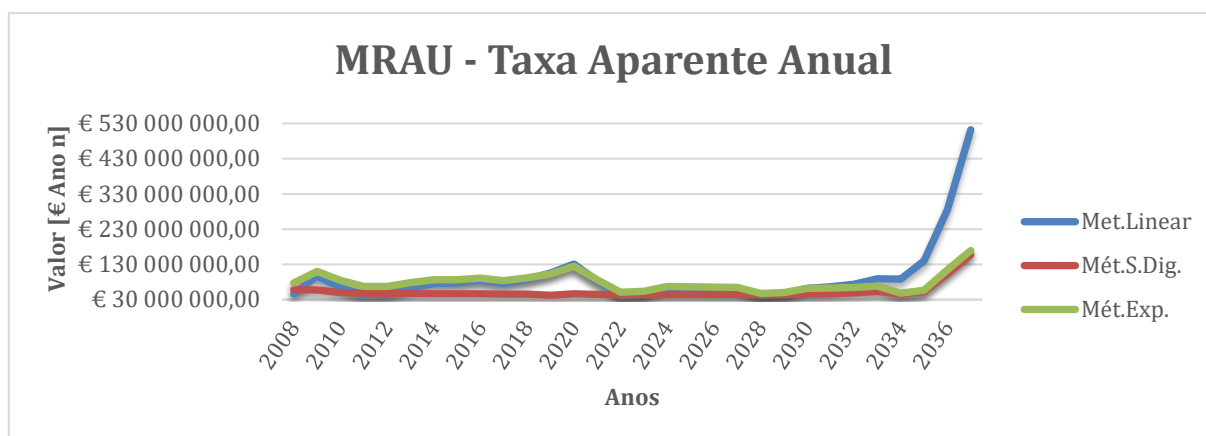


Figura 19 - MRAU Taxa Aparente Anual com Investimento

Analisando a Tabela 9 e a Figura 19, é notório que em função do aumento da taxa aparente, o valor da Renda Anual Uniforme desce, bem como um aumento exponencial nos últimos anos de estudo

4.1.5.2 Aplicação do Método da Minimização do Custo Médio Total com Redução ao Valor Presente (MMCMT-RVP)

Deforma os últimos exemplos, utiliza-se agora o MMCMT-RVP, para determinação do momento exato para substituição do ativo, contemplando o valor do investimento e taxa anual.

Tabela 10 – MMCMT-RVP Taxa Aparente Anual com Investimento

						C' [€]			C'' [€ Ano 0]			MMCMT-RVP [€ Ano 0]			
	Ano [j]	IA [%]	CM [€]	CO [€]	Σ1 [€]	Met.Linear	Mét.S.Dig.	Mét.Exp.	Met.Linear	Mét.S.Dig.	Mét.Exp.	Met.Linear	Mét.S.Dig.	Mét.Exp.	
Taxa aparente Anual	2008	1	9%	1 732,01 €	168 378,87 €	170 110,88 €	155 418,15 €	155 418,15 €	155 418,15 €	4 073 054,13 €	4 454 417,31 €	5 975 778,90 €	4 228 472,27 €	4 609 835,45 €	6 131 197,05 €
	2009	2	4%	6 782,60 €	190 038,53 €	196 821,13 €	123 261,81 €	123 261,81 €	123 261,81 €	1 976 244,60 €	1 968 437,92 €	3 836 018,38 €	2 099 506,42 €	2 091 699,73 €	3 959 280,20 €
	2010	3	6%	5 642,83 €	171 409,04 €	177 051,87 €	98 661,82 €	98 661,82 €	98 661,82 €	2 658 549,49 €	2 532 515,54 €	4 282 833,55 €	2 757 211,31 €	2 631 177,36 €	4 381 495,38 €
	2011	4	10%	9 237,77 €	194 229,43 €	203 467,20 €	82 643,80 €	82 643,80 €	82 643,80 €	3 703 309,34 €	3 552 785,24 €	4 974 932,76 €	3 785 953,14 €	3 635 429,05 €	5 057 576,56 €
	2012	5	9%	8 699,61 €	210 414,02 €	219 113,63 €	71 776,90 €	71 776,90 €	71 776,90 €	3 297 218,75 €	3 126 713,35 €	4 462 982,08 €	3 368 995,65 €	3 198 490,25 €	4 534 758,98 €
	2013	6	6%	23 353,29 €	228 230,22 €	251 583,51 €	64 786,48 €	64 786,48 €	64 786,48 €	2 353 861,19 €	2 145 861,97 €	3 593 113,06 €	2 418 647,67 €	2 210 648,45 €	3 657 899,54 €
	2014	7	5%	5 631,35 €	207 667,52 €	213 298,87 €	58 718,16 €	58 718,16 €	58 718,16 €	1 943 012,46 €	1 714 148,05 €	3 173 846,21 €	2 001 730,62 €	1 772 866,21 €	3 232 564,37 €
	2015	8	4%	8 989,97 €	233 617,73 €	242 607,70 €	54 081,21 €	54 081,21 €	54 081,21 €	1 833 798,51 €	1 600 061,76 €	2 991 037,88 €	1 887 879,72 €	1 654 142,97 €	3 045 119,09 €
	2016	9	4%	12 911,45 €	227 356,10 €	240 267,55 €	50 196,54 €	50 196,54 €	50 196,54 €	1 651 066,23 €	1 407 820,29 €	2 773 360,97 €	1 701 262,77 €	1 458 016,83 €	2 823 557,51 €
	2017	10	4%	5 341,50 €	246 701,09 €	252 042,59 €	46 852,30 €	46 852,30 €	46 852,30 €	1 714 132,43 €	1 482 066,26 €	2 720 023,67 €	1 760 984,72 €	1 528 918,55 €	2 766 875,96 €
	2018	11	3%	6 150,03 €	231 854,84 €	238 004,87 €	43 949,74 €	43 949,74 €	43 949,74 €	1 497 556,05 €	1 251 411,75 €	2 505 568,28 €	1 541 505,79 €	1 295 361,49 €	2 549 518,03 €
	2019	12	3%	11 708,84 €	203 175,36 €	214 884,20 €	41 385,62 €	41 385,62 €	41 385,62 €	1 168 812,72 €	901 405,33 €	2 207 726,82 €	1 210 198,34 €	942 799,95 €	2 249 112,44 €
	2020	13	2%	16 387,70 €	211 992,84 €	228 380,54 €	39 246,76 €	39 246,76 €	39 246,76 €	1 074 170,83 €	789 102,60 €	1 128 162,04 €	1 113 417,58 €	828 349,36 €	2 167 408,80 €
	2021	14	3%	18 882,85 €	202 990,90 €	221 873,75 €	37 156,48 €	37 156,48 €	37 156,48 €	1 391 705,10 €	1 156 468,48 €	2 221 406,23 €	1 428 861,58 €	1 193 624,96 €	2 258 562,71 €
	2022	15	11%	19 315,19 €	402 616,22 €	421 931,41 €	35 086,97 €	35 086,97 €	35 086,97 €	2 319 705,94 €	2 237 655,55 €	2 596 307,59 €	2 354 792,91 €	2 272 742,52 €	2 631 394,56 €
	2023	16	9%	35 427,92 €	420 586,58 €	456 014,50 €	33 371,98 €	33 371,98 €	33 371,98 €	2 066 198,51 €	1 963 957,57 €	2 396 131,19 €	2 099 570,49 €	1 997 329,55 €	2 429 503,17 €
	2024	17	5%	65 414,11 €	417 297,37 €	482 711,49 €	32 160,93 €	32 160,93 €	32 160,93 €	1 572 093,28 €	1 399 125,62 €	2 107 076,83 €	1 604 254,21 €	1 431 286,55 €	2 139 237,76 €
	2025	18	5%	121 578,67 €	430 486,67 €	552 065,35 €	31 113,91 €	31 113,91 €	31 113,91 €	1 526 594,80 €	1 358 605,11 €	2 025 122,74 €	1 557 708,71 €	1 389 719,01 €	2 056 236,65 €
	2026	19	5%	227 449,38 €	447 276,68 €	674 726,06 €	30 259,64 €	30 259,64 €	30 259,64 €	1 483 015,35 €	1 319 798,08 €	1 948 160,25 €	1 513 274,98 €	1 350 057,72 €	1 978 419,89 €
	2027	20	5%	428 287,18 €	443 109,65 €	871 396,84 €	29 627,36 €	29 627,36 €	29 627,36 €	1 443 581,45 €	1 285 229,84 €	1 877 278,39 €	1 473 208,81 €	1 314 857,19 €	1 906 905,75 €
	2028	21	11%	811 689,87 €	440 932,34 €	1 252 622,21 €	28 551,81 €	28 551,81 €	28 551,81 €	1 842 945,93 €	1 796 470,98 €	1 965 352,39 €	1 871 497,74 €	1 825 022,79 €	1 993 904,20 €
	2029	22	9%	1 548 217,26 €	435 960,09 €	1 984 177,35 €	27 925,61 €	27 925,61 €	27 925,61 €	1 692 118,04 €	1 627 313,64 €	1 856 348,26 €	1 720 043,65 €	1 655 239,25 €	1 884 273,87 €
	2030	23	5%	2 971 957,86 €	429 162,94 €	3 401 120,80 €	28 895,57 €	28 895,57 €	28 895,57 €	1 370 050,96 €	1 235 100,58 €	1 699 278,16 €	1 398 946,53 €	1 263 996,15 €	1 728 173,73 €
	2031	24	5%	5 741 228,18 €	421 813,96 €	6 163 042,14 €	31 208,71 €	31 208,71 €	31 208,71 €	1 333 785,08 €	1 202 696,92 €	1 641 778,31 €	1 364 993,79 €	1 233 905,63 €	1 672 987,03 €
	2032	25	5%	11 160 947,59 €	415 508,82 €	11 576 456,42 €	35 858,75 €	35 858,75 €	35 858,75 €	1 299 277,76 €	1 171 830,84 €	1 587 762,94 €	1 335 136,51 €	1 207 689,59 €	1 623 621,70 €
	2033	26	5%	21 833 045,68 €	412 196,29 €	22 245 241,97 €	44 617,87 €	44 617,87 €	44 617,87 €	1 267 100,24 €	1 143 395,62 €	1 536 959,34 €	1 311 718,11 €	1 188 013,48 €	1 581 577,21 €
	2034	27	11%	42 976 167,11 €	414 227,99 €	43 390 395,11 €	46 780,91 €	46 780,91 €	46 780,91 €	1 506 860,65 €	1 481 043,22 €	1 561 153,74 €	1 553 641,56 €	1 527 824,13 €	1 607 934,65 €
	2035	28	9%	85 118 596,59 €	424 438,62 €	85 543 035,21 €	56 024,39 €	56 024,39 €	56 024,39 €	1 414 550,89 €	1 374 152,95 €	1 496 468,90 €	1 470 575,29 €	1 430 177,35 €	1 552 493,29 €
	2036	29	5%	169 624 339,28 €	446 270,15 €	170 070 609,43 €	105 927,51 €	105 927,51 €	105 927,51 €	1 203 754,78 €	1 099 965,89 €	1 406 735,30 €	1 309 682,29 €	1 205 893,39 €	1 512 662,81 €
	2037	30	5%	340 096 800,25 €	483 957,31 €	340 580 757,56 €	196 584,73 €	196 584,73 €	196 584,73 €	1 174 676,39 €	1 073 651,48 €	1 365 265,39 €	1 371 261,12 €	1 270 236,21 €	1 561 850,12 €

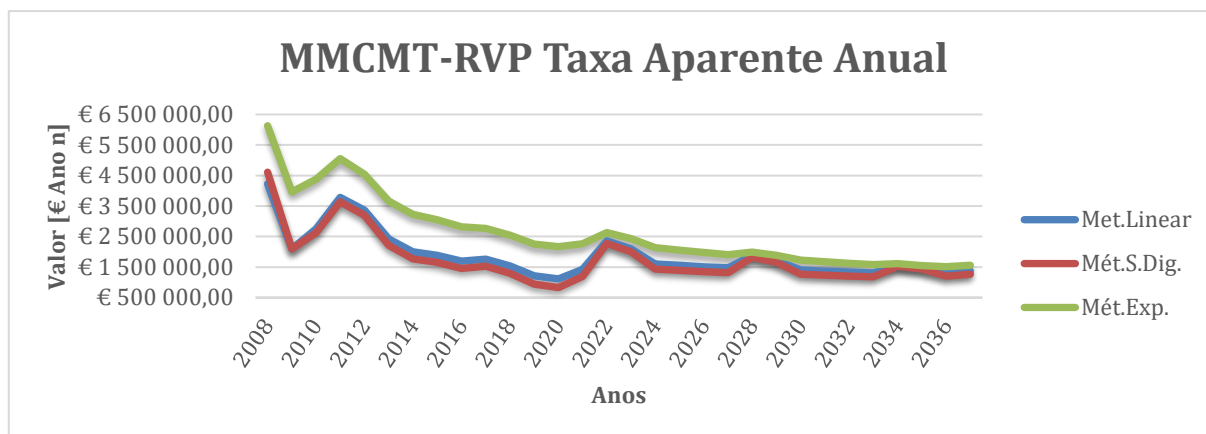


Figura 20 – MMCMT-RVP Taxa Aparente Anual com Investimento

Considerando os dados na Tabela 10 e na Figura 20, o momento exato para substituição, varia consoante o método em análise. Segundo o Método Linear e Soma de Dígitos, o momento mais correto para substituição da Central da Fervença, seria no ano 2020, pois obtém-se o menor valor do ativo. No entanto destaca-se que este momento está interligado a quando a reformulação executada em 2019 na Central da Fervença, na qual pode-se considerar que o ativo, foi “substituído” no ano antes ao encontrado nos modelos a cima.

4.2 Análise através do Indicador Financeiro - ROI

No seguimento dos cálculos realizados nos capítulos anteriores, neste ponto será realizado análise do ciclo de vida útil do ativo, conjugado com o indicador financeiro ROI.

Para tal, dividiu-se em duas partes:

- I. Cálculo do ROI com uma taxa aparente fixa;
- II. Cálculo do ROI com uma taxa aparente anual.

4.2.1 Cálculo do ROI com uma Taxa Aparente Fixa

Inicialmente será demonstrado uma análise global LCI juntamente com a vida útil do ativo em estudo, a Central da Fervença. Considerando a taxa aparente constante de (8%) e os custos inerentes com a manutenção, operação e investimento.

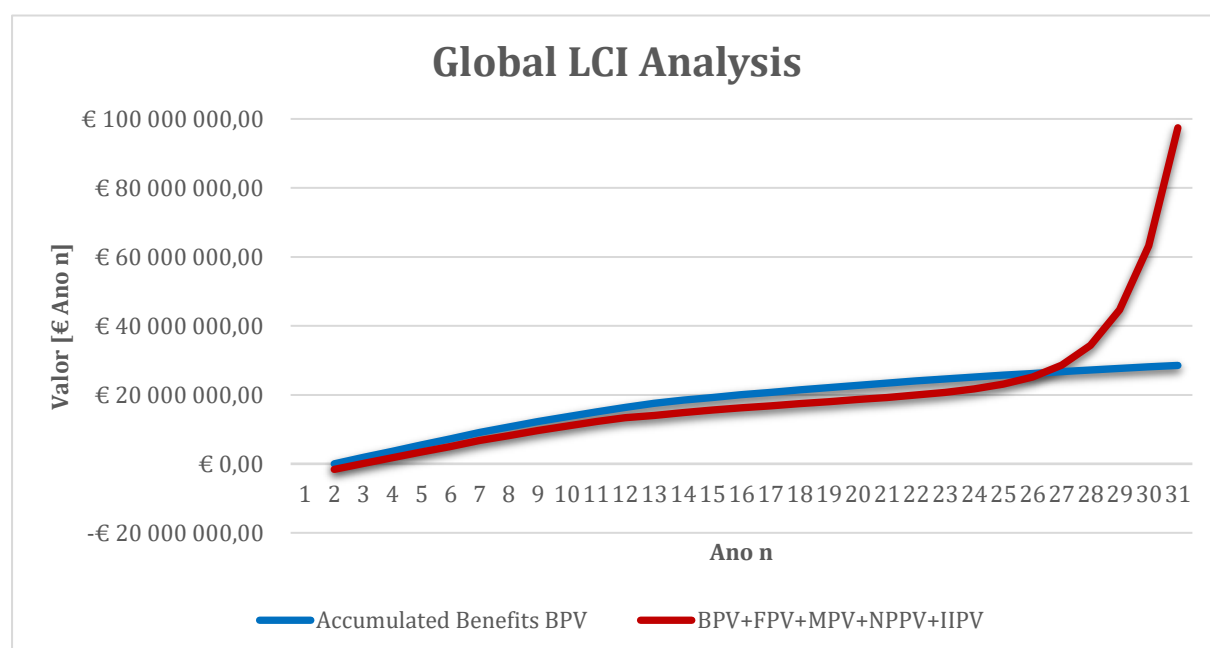


Figura 21 - Análise Global do LCI (Taxa Aparente Fixa)

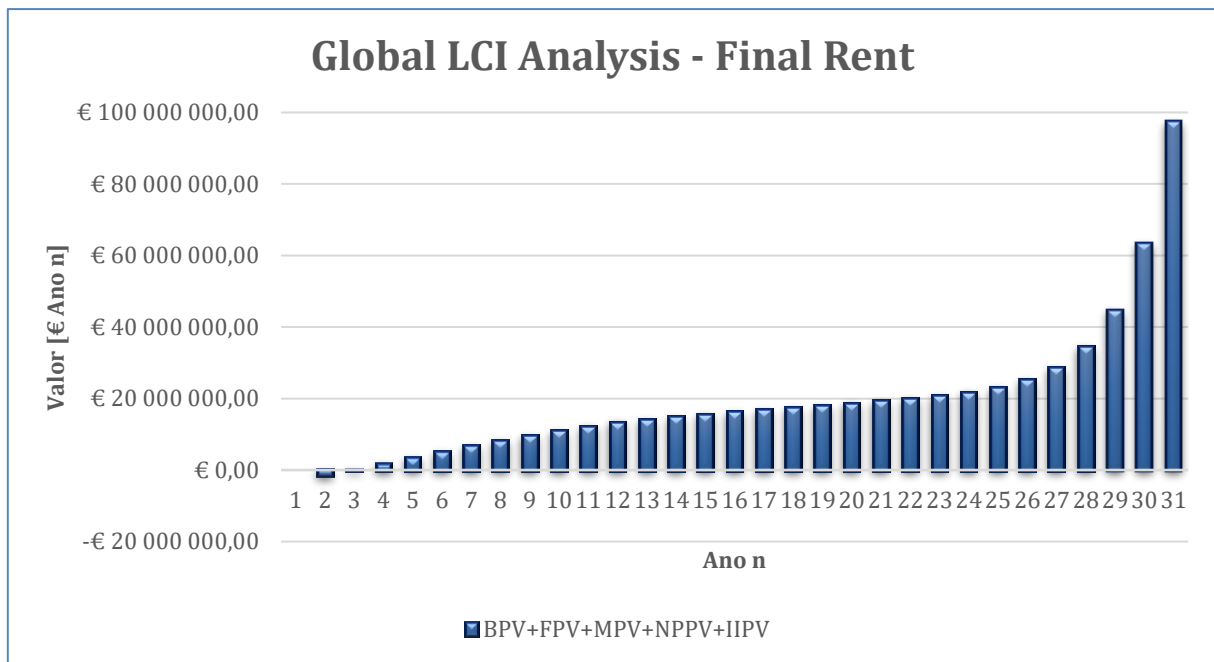


Figura 22 - Análise Global LCI/Renda Final (Taxa Aparente Fixa)

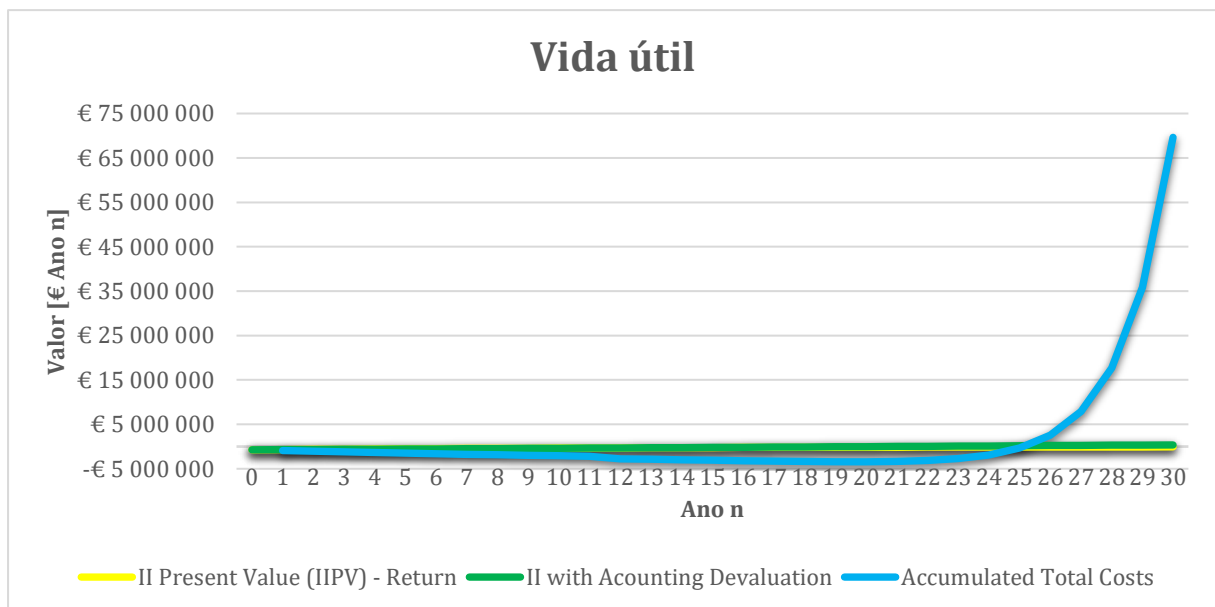


Figura 23 - Vida útil da Central da Fervença (Taxa Aparente Fixa)

Observando a Figura 21 e 22 é possível evidenciar que com o investimento inicial no ativo em causa, foi possível a sua recuperação em poucos anos. Sendo a margem de lucro exponencial, ano após ano.

Através da Figura 23 é possível identificar uma dificuldade nos primeiros anos de exploração do ativo, no entanto a estimativa indica que no ano 26 correspondente a 2033, existirá uma compensação nos custos de tal forma, que será a partir deste momento o melhor momento de exploração da Captação da Fervença.

4.2.2 Cálculo do ROI com uma Taxa Aparente Anual

Neste último caso, realiza-se o cálculo do LCI e a vida útil do ativo em estudo, com uma taxa aparente anual, considerando a taxa de juro e de inflação, entre o ano 2008 e 2022, tendo-se para os anos seguintes realizado uma previsão das mesmas.

Como no caso anterior, a análise seguinte contém os custos de manutenção, de operação e de investimento ao longo do período em estudo.

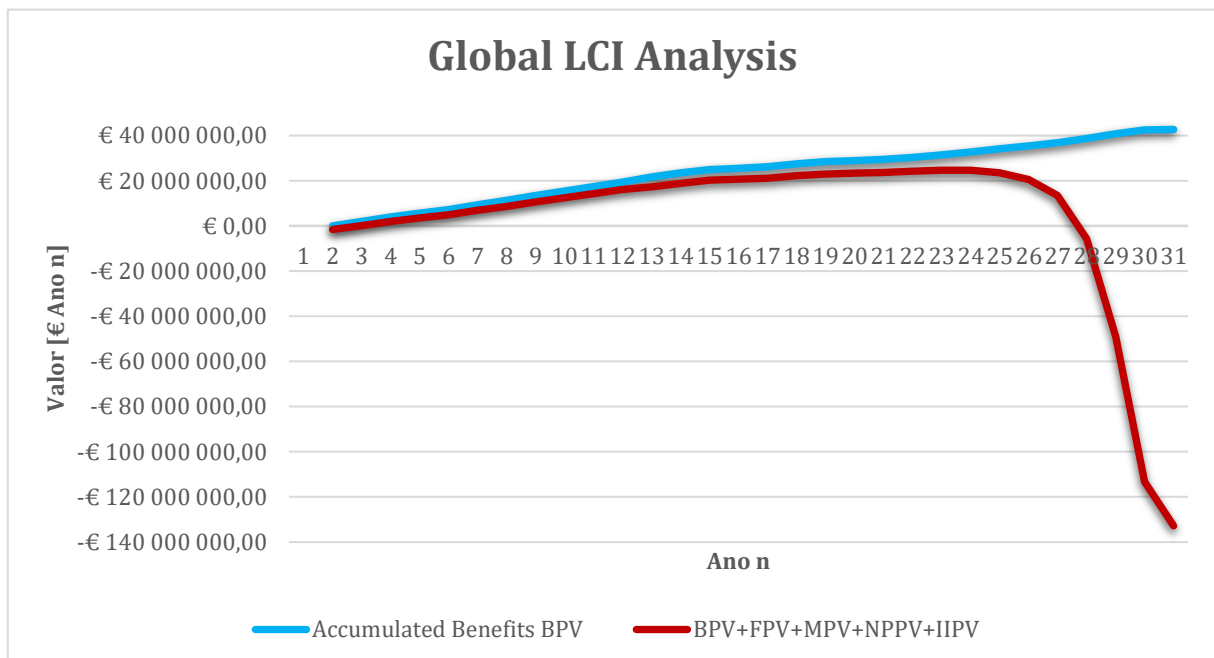


Figura 24 - Análise Global do LCI (Taxa Aparente Anual)

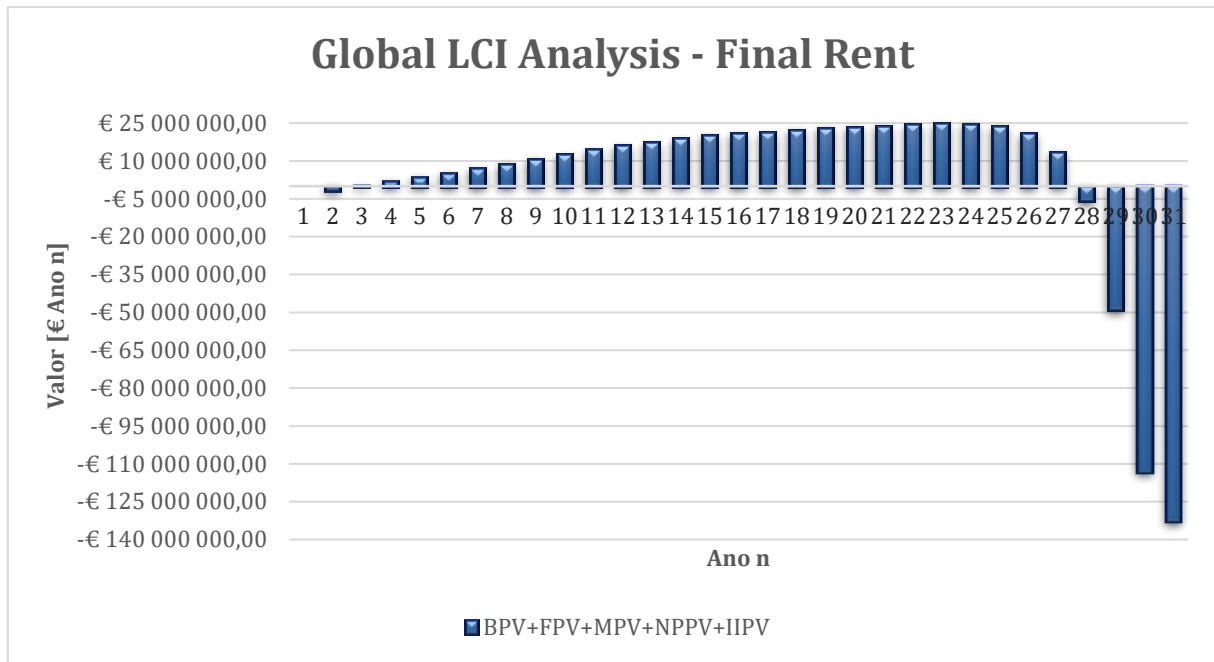


Figura 25 - Análise Global LCI/Renda Final (Taxa Aparente Anual)

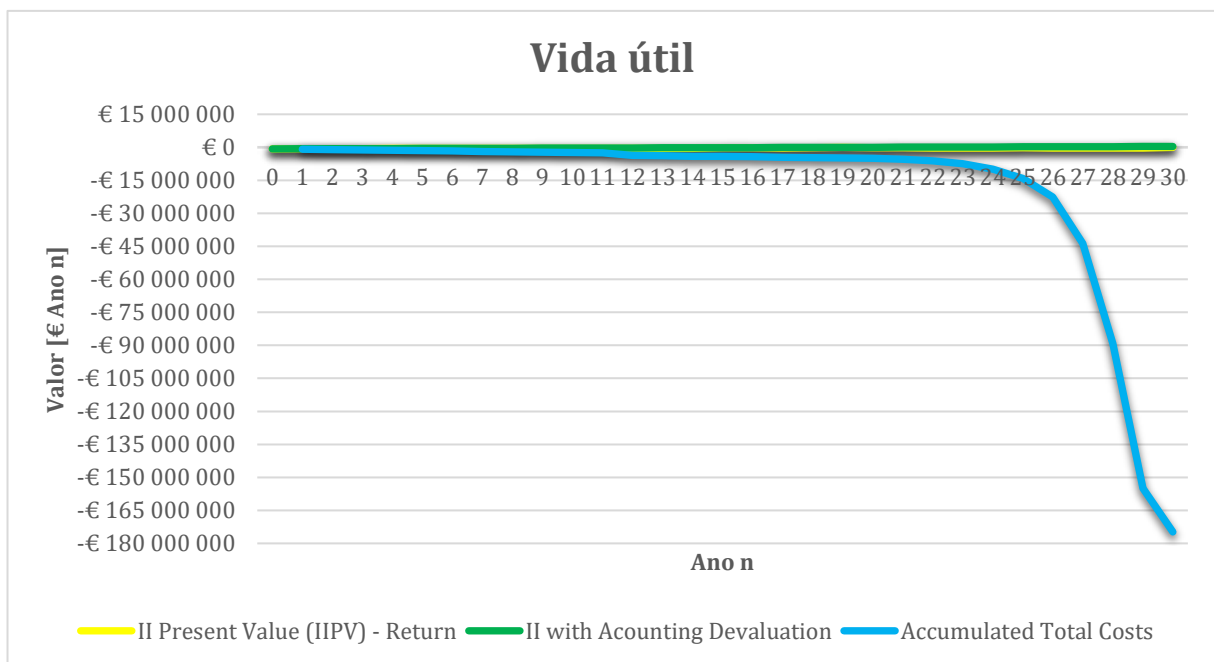


Figura 26 - Vida útil da Central da Fervença (Taxa Aparente Anual)

Comparativamente ao ponto anterior, neste caso ao analisar a Figura 24 e 25, é possível detetar que a Central da Fervença é rentável até ao ano 27 que corresponde ao ano 2034, posteriormente ocorre uma queda abrupta. Este decréscimo indica o momento exato para substituição no nosso ativo, na qual este deve ser realizado no ano 27.

Pois como demonstrado na Figura 26 o valor dos custos inerentes ao ativo terá um aumento bastante significativo a partir do ano 26 (2033).

5 CONCLUSÃO

O presente projeto apoia-se nos modelos econométricos convencionais, com o objetivo de determinar o momento mais coerente para a substituição de uma Central de Água, tendo em consideração diversos fatores, inclusive a Energia Elétrica.

O ativo em foco para o cálculo do Ciclo de Vida foi a Central de Captação e Distribuição e Água da Fervença, podendo ser aplicado a qualquer ativo ou infraestrutura.

Com este estudo foi possível analisar com rigor os modelos de depreciação, nomeadamente o Método Linear de Depreciação, o Método da Soma de Dígitos e o Método Exponencial.

Em caso de escolha, não considerando o investimento, dever-se-á selecionar o Método Linear, já no caso de se considerar o valor do investimento, a escolha deverá ser o Método Exponencial.

Os parâmetros económicos foram suportados por diversos indicadores, nomeadamente os custos de aquisição, manutenção, operação, *cash-flow*, entre outros.

O presente estudo fundamentou-se em ferramentas clássicas para a determinação do momento mais racional para a substituição dos ativos físicos, influenciando-se pelas taxas inerentes (taxa de inflação e taxa de juros) bem como o LCC, aplicando-se aos dados reais do Sector das Águas.

Demonstrando ainda que existe uma oscilação no tempo mais racional de substituição da central, obtida através dos métodos de cálculo utilizados, nomeadamente, o Método da Renda Anual Uniforme, o Método da Minimização do Custo Médio Total e do Método da Minimização do Custo Médio Total com redução ao valor presente.

O método que permitiu identificar o momento mais coerente para a substituição da Central de Águas de Fervença foi o Método da Minimização do Custo Médio Total com redução ao valor presente (MCMT-RVP), com o período compreendido entre 2019 e 2020 (taxa aparente anual sem investimento e com investimento). É neste espaço temporal que ocorre uma inversão na trajetória do custo de posse. No entanto é de frisar que em 2019 foi realizado uma “substituição/recuperação” da central, de forma a melhorar os serviços, atualizar os sistemas e equipamentos (com melhor eficiência energética).

Quanto ao Método de Renda Anual Uniforme e o Método da Minimização do Custo Médio Total, não foi possível atingir um resultado unânime e coerente, de forma a concluir o momento ou período adequado para a substituição.

É ainda possível detetar nos resultados a influência correspondente aos custos de manutenção, custos de operação, taxa de inflação, taxa de capitalização, e instabilidade do mercado energético.

No entanto foi agregado ao projeto um modelo revolucionário para determinação do momento exato na substituição de ativos físicos, com base nos modelos convencionais, mas com ênfase no *Life Cycle Investmente* (LCI) e na vida útil da Central da Fervença. Este contempla ainda a relação entre o modelo anterior, com o *Return On Investment* (ROI), sendo um indicador financeiro para avaliação do desempenho financeiro de um ativo, demonstrando desta forma o momento em que o ativo em estudo começa a ser rentável para a empresa.

A realização deste estudo contém alguns *handicaps*, pois o ativo em estudo foi adjudicado em 1969 e iniciou atividade em 1970. Com a mudança de gestão e alterações de programas de contabilidade, apenas foi possível reunir os dados de custos de operação, manutenção e de investimento desde 2008.

Deste modo espera-se que a Central da Fervença adote o sistema em epígrafe de modo a avaliar e comprovar a veracidade do presente estudo, bem como a aplicação das metodologias inerentes para os restantes ativos da INOVA, de forma a melhorar as tomadas de decisão do Concelho de Administração.

BIBLIOGRAFIA

- Almeida Pais, J. E., Raposo, H. D. N., Farinha, J. T., Cardoso, A. J. M., & Marques, P. A. (2021). Optimizing the Life Cycle of Physical Assets through an Integrated Life Cycle Assessment Method. In *Energies* (Vol. 14, Issue 19, p. 6128). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/en14196128>.
- Duarte, P. (2017). Construção de captações de águas subterrâneas, Águas das Caldas de Penacova, S.a (http://www1.ipq.pt/PT/IPQ/historico_eventos/Documents/2017/Construcao-exploracao-selagem-captacoes-aguas-subterraneas/PedroDuarte_AguasPenacova.pdf).
- Ferreira J., e. a. (2012). Manual de Boas Práticas para Execução e Exploração de Furos de Captação de Águas Subterrâneas (Instituto Português da Qualidade | 2012 ed.). ISBN 978-972-763-132-2.
- Farinha, J. M. T. (2011): *Manutenção – A Terologia e as Novas Ferramentas de Gestão*. Lisboa: 1ª Edição, Monitor – Projecto e Edições, Lda. ISBN 978-972-9413-82-7.
- ISO 50001:2011 (2012) – Energy Management Systems – Requirements With Guidance for Use; ISO 50004:2020 – Energy Management Systems - Guidance for the Implementation, Maintenance and Improvement of an ISO 50001 Energy Management System; ISO 50006:2014 – Energy Management Systems – Measuring Energy Performance Using Energy Baselines (EnB) and Energy Performance Indicators (EnPI) – General Principles and Guidance; ISO 50015:2014 – Energy Management Systems – Measurement and Verification of Energy Performance of Organizations – General Principles and Guidance.
- ISO 50002:2014 – Energy Audits – Requirements With Guidance for Use.
- ISO 50047:2016 – Energy Savings – Determination of Energy Savings in Organizations.
- ISO 55000:2014 (2016) – Asset Management – Overview, Principles and Terminology; ISO 55001:2014 (2016) – Asset Management – Management Systems Requirements; ISO

55002:2014 (2016) – Asset Management – Management Systems – Guidelines for the Application of ISO 55001.

Raposo, H. (2017): Modelos de Optimização do Tempo de Substituição de Autocarros de Transporte Urbano com Indexação à Frota de Reserva (Tese de Doutoramento em Engenharia Mecânica, Ramo de Gestão e Robótica Industrial | Universidade de Coimbra).

Ristimäki, M., Säynäjoki, A., Heinonen, J., & Junnila, S. (2013). Combining life cycle costing and life cycle assessment for an analysis of a new residential district energy system design. In *Energy* (Vol. 63, pp. 168–179). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.10.030>.

Torres Farinha, J., Nogueira Raposo, H., & Galar, D. (2020). Life Cycle Cost versus Life Cycle Investment – A new Approach. En *WSEAS TRANSACTIONS ON SYSTEMS AND CONTROL* (Vol. 15, pp. 743-753). World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS). <https://doi.org/10.37394/23203.2020.15.75>.

ANEXOS A – ARTIGO APRESENTADO NO CONGRESSO DA ÁGUA 2023



CICLO DE VIDA DE ACTIVOS FÍSICOS DO SETOR DA ÁGUA NA VERTENTE DA ENERGIA – CASO DE ESTUDO

**Tonny Ramalho Mendes¹, Ana Pedro Silva², Hugo Nogueira Raposo³, José Torres
Farinha⁴, Mateus**

Mendes⁵

1. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, R. Pedro Nunes 3030-199, tm.tonnyjavier@gmail.com
2. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, R. Pedro Nunes 3030-199, anppsilva1@gmail.com
3. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, R. Pedro Nunes 3030-199, hugo.raposo@isec.pt
4. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, R. Pedro Nunes 3030-199, tfarinha@isec.pt
5. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, R. Pedro Nunes 3030-199, mmendes@isec.pt

RESUMO

O objetivo da comunicação é apresentar uma análise de ciclo de vida do setor da água na vertente da energia, suportado num caso de estudo. Para o efeito serão abordadas as eletrobombas de captação e transferência de água potável, consolidado com o risco de inoperacionalidade (ISO 55001) e consumo energético (ISO 31000) ao longo da vida destes ativos.

O estudo visa avaliar o ciclo de vida do investimento até à presente data e, a partir dos resultados obtidos, fazer extrapolações referentes ao ciclo de vida remanescente. Esta análise tem em consideração investimentos alternativos, com apreciação dos custos de funcionamento, de manutenção e de energia que permitam maximizar os resultados operacionais da INOVA-EM, bem como a máxima satisfação dos consumidores da Empresa. A abordagem é feita na perspetiva do ciclo de vista do investimento (LCI – *Life Cycle Investment*) e não do tradicional custo do ciclo de vida (LCC – *Life Cycle Cost*).

Como caso de estudo serão usados os dados dos equipamentos, nas vertentes do investimento, funcionamento e manutenção, da captação de água em Fervença, concelho de Cantanhede, os quais alimentam todo o concelho através do bombeamento da água, desde a captação até reservatórios elevados, nomeadamente nas regiões da Fontinha, Lemed e Tocha.

Serão ainda abordados problemas relativos às captações de água e efeitos da seca nos níveis freáticos, eletrobombas e problemas mais usuais nas instalações (cavitação, calcário, alinhamento, ponto de funcionamento, entre outros), a importância da beneficiação das instalações e acessórios hidráulicos, bem como a correlação entre as políticas de manutenção e o ciclo de vida.

Os dados serão tratados através de ferramentas informáticas, sendo os respetivos resultados avaliados quer pela sua robustez quer pela sensibilidade dos dirigentes da INOVA-EM.

Como resultado deste estudo pretende-se demonstrar o caminho para a melhoria dos sistemas hidráulicos, monitorizando o funcionamento, controlando a quantidade de fluído bombeado *versus* energia consumida, visando tornar os sistemas de captação e bombeamento mais eficientes, otimizando a curva do ciclo de vida dos equipamentos.

Palavras-Chave: Análise do Ciclo de Vida; Análise de Investimento; Energia; ISO 31000; ISO 55001; Manutenção.

ANEXOS B – ARTIGO ACEITE PARA PUBLICAÇÃO

Life Cycle Investment in the Water Sector – a Case Study

J. Edmundo de-Almeida-e-Pais^{1,2*}, and Tonny Mendes³, and Hugo D. N. Raposo^{1,3}, and José Torres Farinha^{1,3}, and Jorge R. N. Raposo^{1,4}

¹RCM²⁺ Research Centre for Asset Management and Systems Engineering, Portugal

²CISE - Electromechatronic Systems Research Centre, University of Beira Interior, 6201-001 Covilhã, Portugal

³Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Polytechnic of Coimbra, 3030-199 Coimbra, Portugal

⁴ESTA - Abrantes Higher School of Technology, Polytechnic Institute of Tomar, R. 17 de Agosto de 1808, 2200-370 Abrantes, Portugal

*edmundo.pais@ubi.pt (EP); tm.tonnyjavier@gmail.com (TM); hugo.raposo@isec.pt (HR); tfarinha@isec.pt (JTF); jorge.raposo@isec.pt (JR)

Abstract. Nowadays, it is important to manage physical assets of businesses as a way of realizing value in order to ensure the survival of companies, where re-sources are becoming scarcer, and the global economy is unclear. Managing as-sets is critical to know the expenses related to initial investment and the ones indexed to maintenance, as well as the profits throughout the asset Life Cycle – based on these data the managers can support decisions aiming to increase value for the assets and from the assets. Realizing the value of assets is the primary goal of asset management, being supported by the Strategic Asset Management Plan (SAMP), which must include a number of activities to achieve this goal. Because each sector is significant in the overall picture, asset management inter-acts with several areas and needs a clear channel for communication, both inside and outside of the business - part of the SAMP is the Life Cycle. This paper focuses specifically on the water distribution industry, where a substantial portion of expenses is attributable to energy use and maintenance, both of which are es-sential for providing the quality of water provided to the customer. On the other hand, good water use management must be ensured. This paper purpose is to bring managers new tools to improve life cycle analysis, based on risk and avail-ability, the results are different from what is normally expected, thus resulting that electricity consumption is not as important a factor as the risk factor.

This paper presents a case study on the water sector while using the latest econ-ometric models and considering different availability and risk rates.

Keywords: Asset Management, Sustainability, Life Cycle Investment, MTBF, MTTR, Availability