



GUIA PARA DIAGNÓSTICO, PRIORIZAÇÃO DE ALTERNATIVAS, MONITORIZAÇÃO E REVISÃO DO PLANO DE AÇÃO

Dezembro 2021

Promotores:



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL



TÉCNICO
LISBOA

Financiado por:



Fundo de Apoio à Inovação
Energias Renováveis e Eficiência Energética

Título

Avaliação da eficiência energética nos serviços urbanos de águas. Guia para diagnóstico, priorização de alternativas, monitorização e revisão do plano de ação

Autores

Dália Loureiro, Catarina Silva, Maria Adriana Cardoso, Helena Alegre, Marta Cabral, Dília Covas, Maria João Rosa

Contributos:

Paula Beceiro, Joana Carneiro

Data

Dezembro 2021

RESUMO

O projeto **Avaler+** “Avaliação da eficiência e sustentabilidade energética dos serviços urbanos de águas” pretendeu estabelecer um quadro de referência claro, integrador e de aplicação simples para avaliação do desempenho energético, apoio na tomada de decisão e monitorização do impacto de medidas de eficiência energética nas entidades gestoras (EG) dos sistemas de abastecimento de água, de água residual e pluvial.

Este projeto assentou no desenvolvimento e teste, nas EG participantes no projeto, de dois “produtos/ferramentas” fundamentais para a melhoria da eficiência energética dos serviços urbanos de água – o sistema de avaliação para todo o ciclo urbano da água e o plano de ação para a sua operacionalização e consequente melhoria contínua do desempenho. O plano de ação foi desenvolvido em três partes: diagnóstico, priorização de alternativas e monitorização.

Este guia visa i) apresentar a metodologia para diagnóstico de eficiência, priorização de alternativas, e monitorização e revisão do plano de ação, e ii) exemplificar, em EG participantes do projeto Avaler+, a sua aplicação nos vários níveis de análise.

PALAVRAS-CHAVE

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

DIAGNÓSTICO

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

PLANO DE AÇÃO

SERVIÇOS URBANOS DE ÁGUAS

ÍNDICE

PREFÁCIOS

14

01 INTRODUÇÃO

18

PARTE I. DIAGNÓSTICO

23

02 METODOLOGIA PARA DIAGNÓSTICO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS SERVIÇOS URBANOS DE ÁGUA

24

2.1 Visão geral

25

2.2 Sistema de avaliação

26

2.2.1 Indicadores de perfil da EG e dos sistemas SAA e SARP

26

2.2.2 Indicadores de desempenho para os níveis de análise 1 a 3

26

2.2.3 Métricas de desempenho para o nível de análise 4

31

03 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PARA DIAGNÓSTICO NA EG J

36

3.1 Perfil da EG J

36

3.2 Diagnóstico global (nível 1)

38

3.3 Diagnóstico por etapa (nível 2)

38

3.3.1 Etapas do ciclo urbano da água geridas pela EG J

38

3.3.2 Etapa de captação, transporte e distribuição de água

39

3.3.3 Etapa de tratamento de águas residuais

40

3.3.4 Etapa de recolha e transporte de águas residuais

40

3.4 Diagnóstico por componente de infraestrutura (nível 3)

41

3.4.1 Subsistemas de abastecimento de água

41

3.4.2 Estações de tratamento de águas residuais

43

3.5 Diagnóstico por processo ou equipamento (nível 4)

44

3.5.1 Instalações elevatórias do subsistema 4 da EG J

44

3.5.2 ETAR 1 da EG J

46

3.6 Síntese do diagnóstico

46

PARTE II. SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS

51

04 METODOLOGIA PARA PRIORIZAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE MELHORIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

52

4.1 Medidas infraestruturais e não-infraestruturais

53

4.2 Metodologia de comparação e priorização de alternativas

56

05 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PARA PRIORIZAÇÃO DE ALTERNATIVAS NA EG

62

5.1 Síntese do diagnóstico na EG D

63

5.2 Especificação de alternativas

64

5.3 Recolha de dados para caracterização do subsistema, ativos, alternativas e pressupostos

64

5.4 Análise comparativa de alternativas em termos de desempenho

68

5.5 Análise económica de alternativas atendendo a custos no ciclo de vida

70

5.6 Priorização de alternativas e avaliação do impacto

71

06 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PARA PRIORIZAÇÃO DE ALTERNATIVAS NA EG F

74

6.1 Síntese do diagnóstico na EG F

75

6.2 Especificação de alternativas

75

6.3 Recolha de dados para caracterização da ETAR, compressores, alternativas e pressupostos

76

6.4 Análise comparativa de alternativas em termos de desempenho

80

6.5 Análise económica de alternativas atendendo a custos no ciclo de vida

81

6.6 Priorização de alternativas e avaliação do impacto

82

PARTE III. MONITORIZAÇÃO E REVISÃO DO PLANO

85

07 METODOLOGIA PARA MONITORIZAÇÃO E REVISÃO DO PLANO

86

08 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PARA MONITORIZAÇÃO DO PLANO NA EG B

90

8.1 Síntese do diagnóstico na EG B

90

8.2 Monitorização do desempenho

92

REFERÊNCIAS

96

LISTA DE FIGURAS

01	FIGURA 1.1 Etapas do ciclo PDCA (“plan-do-check-act”)	18
02	FIGURA 2.1 Exemplo de aplicação da metodologia (os gráficos circulares em cada nível representam o consumo de energia e as fatias representam os estágios; em cada fatia, os círculos representam os indicadores de eficiência e os quadrados os indicadores de eficácia desse estágio)	25
03	FIGURA 3.1 Proporção dos gastos com energia em SAA e SAR nos gastos operacionais ajustados na EG J	38
	FIGURA 3.2 Consumo de energia, eficiência energética e eficácia na EG J nas três etapas do seu sistema urbano de águas (nível de análise 2) em 2017 (as fatias do gráfico circular representam o consumo de energia nas várias etapas; em cada fatia, os círculos representam os indicadores de eficiência e os quadrados os indicadores de eficácia desse estágio)	38
	FIGURA 3.3 Balanço energético no sistema de captação, transporte e distribuição de água da EG J	39
	FIGURA 3.4 Consumo de energia, indicadores de eficiência energética e de eficácia em cada um dos 4 subsistemas de abastecimento de água da EG J	42
	FIGURA 3.5 Subcomponentes do indicador “Energia em excesso por consumo autorizado” para os 4 subsistemas da EG J	43
	FIGURA 3.6 Consumo de energia nas 4 ETAR da EG J, e indicadores de eficiência energética e de eficácia na ETAR 1, em 2017	43
	FIGURA 3.7 Avaliação do consumo de energia normalizado (dE2) e da vida residual (Δ) das principais instalações elevatórias do subsistema 4	44
	FIGURA 3.8 Consumo de energia em cada processo da ETAR 1 na EG J	46
	FIGURA 3.9 Síntese do diagnóstico (níveis 1 a 4) para a etapa de captação, transporte e distribuição na EG J	47
	FIGURA 3.10 Síntese do diagnóstico (níveis 1 a 4) para a etapa de tratamento de águas residuais na EG J	48
04	FIGURA 4.1 Exemplo de resultado da comparação e priorização de alternativas num subsistema de distribuição de água com problemas de ineficiência energética e de perdas de água utilizando o software AWARE-P. A.00 é a alternativa statu-quo, A.01 a alternativa de instalação de uma válvula redutora de pressão à entrada do subsistema e A.02 a alternativa de abastecimento a partir de outro setor de rede	58
	FIGURA 4.2 Exemplo de resultado da análise económica de substituição de um conjunto de grupos eletrobomba utilizando o software AWARE-P	61
05	FIGURA 5.1 Síntese do diagnóstico para a EG D	63
	FIGURA 5.2 Evolução do consumo de energia normalizado das instalações elevatórias entre 2019 e 2039, dE2, kWh/(m³.100m)	69
	FIGURA 5.3 Evolução da energia fornecida em excesso entre 2019 e 2039, dE20, kWh/m³	70
	FIGURA 5.4 Investimento inicial necessário e desempenho médio no período de análise 2019-2039 para as várias alternativas	71
	FIGURA 5.5 Energia em excesso por volume de consumo autorizado e respetiva fração associada a perdas de água, ineficiência em bombas e associada a traçado e operação para o ano horizonte de análise para as várias alternativas estudadas	72
06	FIGURA 6.1 Síntese do diagnóstico para a etapa de tratamento de águas residuais na EG F	75
	FIGURA 6.2 Evolução do consumo de energia por volume tratado entre 2018 e 2038	80
	FIGURA 6.3 Evolução do consumo de energia por carga de CBO ₅ removida entre 2018 e 2038	81
	FIGURA 6.4 Investimento inicial necessário e avaliação do desempenho global médio dos 20 anos de análise para as várias alternativas	82
08	FIGURA 8.1 Síntese do diagnóstico para a etapa de tratamento de águas residuais na EG B (círculos representam métricas de eficiência, quadrados métricas de eficácia)	91

LISTA DE QUADROS

02	QUADRO 2.1 Indicadores de perfil da EG e dos sistemas de abastecimento de água e de águas residuais e pluviais	28
	QUADRO 2.2 Sistema de avaliação da eficiência energética nos serviços urbanos de águas para os níveis de análise 1 a 3* (AA – abastecimento de água, ApR – água para reutilização, ARP – água residual e pluvial)	29
	QUADRO 2.3 Indicadores de desempenho de eficiência energética nos serviços urbanos de águas para os níveis de análise 1-3 (Loureiro et al. 2020b).	29
	QUADRO 2.4 Indicadores de desempenho de eficácia nas etapas de captação, transporte e distribuição, para os níveis de análise 1-3 (Loureiro et al. 2020b)	30
	QUADRO 2.5 Indicadores de desempenho de eficácia nas etapas de drenagem e tratamento, para os níveis de análise 1-3 (Loureiro et al. 2020b)	30
	QUADRO 2.6 Indicadores de desempenho de eficiência e de eficácia de instalações elevatórias ou equipamento de bombeamento associado a qualquer etapa do ciclo urbano da água (nível 4)	31
	QUADRO 2.7 Índices de desempenho dos processos de tratamento de águas residuais	33
	QUADRO 2.8 Índices de desempenho dos processos de tratamento de águas (nível 4)	34
03	QUADRO 3.1 Perfil da EG J a nível global	36
	QUADRO 3.2 Perfil da EG J no Sistema de Abastecimento de Água (SAA)	37
	QUADRO 3.3 Perfil da EG J no Sistema de Águas Residuais (SAR)	37
	QUADRO 3.4 Avaliação do desempenho de instalações elevatórias para abastecimento de água no subsistema 4 da EG J	45
04	QUADRO 4.1 Exemplos de medidas infraestruturais e não-infraestruturais para melhoria da eficiência energética por etapa do ciclo urbano da água	54
	QUADRO 4.2 Exemplos de medidas infraestruturais e não-infraestruturais de melhoria da eficiência energética por nível de análise	55
	QUADRO 4.3 Exemplos de problemas e medidas recomendadas ao nível do equipamento de bombeamento	57
	QUADRO 4.4 Aspetos considerados na análise económica de alternativas	59

05	QUADRO 5.1 Dados necessários para caracterização do subsistema D.s3, rede de condutas e instalação elevatória	65
	QUADRO 5.2 Dados necessários ao estudo de alternativas para o subsistema D.s3	66
	QUADRO 5.3 Síntese dos pressupostos adotados para estudo de alternativas no subsistema D.s3	67
	QUADRO 5.4 Desempenho dos indicadores de eficiência e de eficácia em 2039 e desempenho médio dos indicadores analisados entre 2019 e 2039	68
	QUADRO 5.5 Investimento inicial (2018), valor atualizado líquido para as taxas de atualização de 5%, 7%, 10% e período de retorno do investimento para cada alternativa	70
	QUADRO 5.6 Impacto das alternativas analisadas em termos de energia elétrica e de emissões de CO _{2e}	73
06	QUADRO 6.1 Dados necessários para caracterização da ETAR e dos compressores	77
	QUADRO 6.2 Dados necessários ao estudo de alternativas para os compressores da ETAR	78
	QUADRO 6.3 Síntese dos pressupostos adotados para estudo de alternativas	79
	QUADRO 6.4 Desempenho dos indicadores de eficiência no ano 2018 e de eficácia no ano horizonte de análise 2038	80
	QUADRO 6.5 Investimento inicial, valor atualizado líquido para taxas de atualização de 5%, 7%, 10% e período de retorno do investimento para cada alternativa	81
	QUADRO 6.6 Impacto das alternativas analisadas em termos de energia e de emissões de CO ₂	82
07	QUADRO 7.1 Exemplo de programação das medidas para melhoria da eficiência energética nos serviços urbanos de águas	86
	QUADRO 7.2 Exemplo de monitorização do progresso no desempenho com aplicação do sistema de avaliação no nível 3 na etapa de captação, transporte e distribuição de água	87
	QUADRO 7.3 Exemplo de desvio identificado	88
	QUADRO 7.4 Procedimentos para tratar os desvios ao plano	88
	QUADRO 7.5 Monitorização do nível de implementação das medidas	88
	QUADRO 7.6 Revisão do plano	89
08	QUADRO 8.1 Programação das medidas para melhoria da eficiência energética na etapa de tratamento de águas residuais no horizonte de 2018-2022	92
	QUADRO 8.2 Monitorização do progresso no desempenho com aplicação do sistema de avaliação no nível 3 na etapa de drenagem de águas residuais da EG B	93
	QUADRO 8.3 Monitorização do nível de implementação das medidas	93

CÓDIGO DOS INDICADORES DE DESEMPENHO

CÓDIGO	DESCRIÇÃO DO INDICADOR	UNIDADES
aE2	Consumo de energia normalizado na captação & transporte	kWh/m³/100m
aE3	Índice de energia fornecida na captação & transporte	-
aE20	Energia em excesso por consumo autorizado	kWh/m³
aE4	Falhas na captação & transporte	[n.º/(ponto de entrega.ano)]
aE5	Água não faturada em alta	%
tE2	Consumo de energia por volume de água tratada	kWh/m³
tE3	Consumo de energia para encaminhamento de lamas produzidas no tratamento de água	kWh/m³
tE4	Volume de água tratada	%
tE5	Qualidade da água tratada	%
dE2	Consumo de energia normalizado no transporte & distribuição	kWh/m³/100m
dE3	Índice de energia fornecida no transporte e distribuição	-
dE20	Energia em excesso por consumo autorizado	kWh/m³
dE4	Falhas no transporte e distribuição	[no./(1000 ponto de consumo.ano)]
dE5	Água não faturada em baixa	%
dE6a	Cloro residual mínimo nos pontos de entrega	%
dE6b	Cloro residual mínimo nos pontos de consumo	%
dE7	Cloro residual máximo nos pontos de consumo	%
dE8	Valores mais elevados em THM máximo nos pontos de entrega ou consumo	%
dE9.0a	Valores mais elevados em parâmetros microbiológicos nos pontos de entrega ou consumo (E. coli)	nº/100 mL (E. coli)
dE9.0b	Valores mais elevados em parâmetros microbiológicos nos pontos de entrega ou consumo (Enterococos)	nº/100 mL (Enterococci)

CÓDIGO	DESCRIÇÃO DO INDICADOR	UNIDADES
dE9.0c	Valores mais elevados em parâmetros microbiológicos nos pontos de entrega ou consumo (Bactérias coliformes)	no./100 mL (bactérias coliformes)
dE9.0d	Valores mais elevados em parâmetros microbiológicos nos pontos de entrega ou consumo (C. perfringens)	nº/100 mL (C. perfringens)
dE9.0e	Valores mais elevados em parâmetros microbiológicos nos pontos de entrega ou consumo (N.º de colónias a 22°C)	% (contagem de colónias a 22°C)
dE9.0f	Valores mais elevados em parâmetros microbiológicos nos pontos de entrega ou consumo (N.º de colónias a 37°C)	% (Contagem de colónias a 37°C)
wcE2	Consumo de energia normalizado	kWh/m³/100m
wcE3	Índice de energia fornecida na drenagem	-
wcE20	Energia em excesso por água residual recolhida	kWh/m³
wcE4	Consumo de energia na limpeza de coletores	kWh/km
wcE5	Consumo de energia para drenagem de fossas sépticas	kWh/m³
wcE6	Água residual recolhida face à faturada	%
wcE7.a	Ocorrência de inundações em alta	n.º/100 km/ano
wcE7.b	Ocorrência de inundações em baixa	n.º/1000 ramais/ano
wcE8	Controlo de descargas de emergência	%
wcE9	Sedimentos removidos	ton/km
wtE2	Consumo de energia por volume de água residual tratada em ETAR	kWh/m³
wtE3	Consumo de energia por massa de CBO ₅ removida	kWh/kg CBO ₅ removido
wtE4	Consumo de energia para encaminhamento de lamas produzidas no Tratamento de Água Residual	kWh/m³
wtE5	Produção de energia a partir do biogás	kWh/m³
wtE6	Eficiência volúmica no Tratamento de Água Residual	%
wtE7	Cumprimento de licença de descarga	%

PREFÁCIOS



INÊS DOS SANTOS COSTA
SECRETÁRIA DE ESTADO DO AMBIENTE

O consumo de energia no ciclo urbano de água, no seu abastecimento e na gestão de águas residuais e pluviais, tem um peso expressivo em comparação com a generalidade dos serviços públicos. Entre as instalações registadas no Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia (SGCIE), a atividade “captação, tratamento e distribuição de água” surge no “top 10” das atividades com o maior número de registos. Por outro lado, os gastos com energia correspondem a um intervalo entre os 25 e os 40% dos gastos operacionais das entidades gestoras destes sistemas.

A necessidade de aumento da cobertura da rede de águas residuais e pluviais, por vezes com recurso a sistemas por bombeamento, e a necessidade de novos processos de tratamento, exigentes nos consumos de energia, pode aumentar significativamente a pegada de carbono destes serviços, caso não se fomentem práticas de eficiência. Os serviços urbanos de águas devem, portanto, dar o

seu contributo para os objetivos nacionais, alinhando-se com as metas mais ambiciosas fixadas pela Lei Europeia do Clima: a redução das emissões de Gases com Efeito de Estufa até 2030 em, pelo menos, 55%.

Instrumentos como o sistema de avaliação da qualidade do serviço, implementado pela ERSAR, e o SGCIE contribuíram, decisivamente, para aumentar o conhecimento sobre as ineficiências em equipamentos, impulsionando medidas de melhoria de eficiência. Contudo, o diagnóstico de eficiência energética nos sistemas urbanos de água deve atender, também, ao impacto de outras ineficiências expressivas. Entre estas, as perdas de água nos sistemas de abastecimento, as afluições indevidas aos sistemas de gestão de águas residuais, a subutilização da capacidade de tratamento ou o próprio traçado dos sistemas. Existe ainda a oportunidade de aproveitamento de energia de fontes alternativas a partir dos próprios sistemas (hídrica, biogás). Acresce que, em geral, o diagnóstico é feito de forma separada para cada etapa do ciclo urbano da água, desconsiderando a dimensão de eficácia, fundamental para assegurar um nível de serviço adequado.

A abordagem “Avaler+” visa ultrapassar estas limitações, permitindo um diagnóstico integrado da eficiência e eficácia, atendendo às interações entre as várias etapas do ciclo urbano da água. Permite, ainda, um diagnóstico orientado para a localização dos componentes de infraestruturas ou ativos mais problemáticos, onde a análise deve ser mais aprofundada. Assim, a metodologia proposta permite o diagnóstico de eficiência, a seleção de alternativas, assim como a monitorização e revisão do plano de ação. Este guia apresenta a metodologia e demonstra, de forma clara, a sua aplicação em casos reais de entidades gestoras, de modo a facilitar a sua adoção e replicação a nível nacional. Constitui-se, portanto, como um contributo para a boa execução do Programa Nacional de Investimentos 2030, onde estão previstos dois mil milhões de euros para o ciclo urbano da água, sendo a neutralidade carbónica um dos eixos estratégicos.

Comissão Executiva do Fundo de Apoio à Inovação



JOÃO BERNARDO
PRESIDENTE DA COMISSÃO EXECUTIVA



BRUNO VELOSO
MEMBRO DA COMISSÃO EXECUTIVA

O Fundo de Apoio à Inovação constituiu-se, inicialmente, como instrumento de apoio à inovação, ao desenvolvimento e investimento nas áreas das energias renováveis, tendo posteriormente incorporado competências em matéria de eficiência energética, assumindo como referência os objetivos e as metas definidas nos principais instrumentos de política energética, climática e ambiental e os compromissos firmados por Portugal.

A neutralidade carbónica é um compromisso sério que Portugal tem reafirmado e colocado em prática, particularmente pela redução do consumo de energia proveniente de recursos não renováveis, tendo paralelamente nos últimos anos e, também por isso, o Fundo de Apoio à Inovação assumiu competências nessa matéria, agindo no sentido de fomentar o consumo racional de energia e estimulando o incremento da eficiência energética, não apenas do ponto de vista do consumidor final, mas na otimização da utilização da energia em todos os setores de atividade.

Ao longo dos anos Portugal foi adaptando e transformando o ciclo urbano da água, tendo para tal realizado avultados investimentos infraestruturais aumentando significativamente a capilaridade das suas redes. Contudo, o setor enfrenta hoje novos desafios que se centram na gestão eficiente de recursos e na resposta às alterações climáticas. Perante novos desafios e novas realidades, a eficiência energética deve ser centralmente considerada, uma vez que grande parte do consumo de energia elétrica em Portugal é da responsabilidade deste setor.

Medidas setoriais capazes de garantir o mais elevado nível de eficiência energética, podem ter um significativo impacto na utilização racional de energia e devem assumir-se de forma inovadora e abrangente a cada realidade, implementadas e complementadas por recurso a novas tecnologias e processos otimizados.

A otimização de processos e a adoção de medidas que permitam avaliar e melhorar o desempenho energético no ciclo urbano de água, passando pelos sistemas de captação aos sistemas de abastecimento de água e dos sistemas de águas residuais, representa um extraordinário contributo económico e ambiental a um setor que está entre os maiores consumidores intensivos de energia.

O Fundo de Apoio à Inovação, compreendendo os objetivos e o interesse estratégico do

projeto AVALER +, desde a apresentação da candidatura elaborada pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), enquanto promotor líder, reconheceu de imediato o seu elevado potencial e grau de inovação, particularmente pelo facto de se tratar da aplicação de uma metodologias de Gestão Patrimonial de Infraestruturas a casos concretos e particulares da eficiência energética dos sistemas urbanos de águas, acrescido do reconhecimento e da garantia científica que constitui o ADN das entidades promotoras – LNEC e Instituto Superior Técnico (IST). Um reconhecimento que se estendeu às diversas entidades gestoras, que voluntariamente se dispuseram a colaborar com o AVALER + e sem as quais os resultados que aqui se reproduzem teriam certamente sido difíceis de alcançar.

Assim, é com enorme satisfação que a Comissão Executiva do Fundo de Apoio à Inovação, reconhece a excelência dos resultados alcançados e, se associa a esta publicação, que considera um contributo fundamental e uma ferramenta de apoio indispensável à tomada de decisão e aos expectáveis investimentos que permitam otimizar processos e reduzir significativamente o consumo de energia, contribuindo de forma sustentável para a eficiência energética no setor das águas em Portugal.

PREFÁCIO DO LNEC

A abordagem AVALER+ constitui um corolário marcante da atividade do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC, IP) relativa à eficiência hídrica e energética dos sistemas urbanos de água, desenvolvida nas últimas duas décadas em estreita colaboração com entidades gestoras destes sistemas.

Inicialmente com um enfoque na gestão de perdas de água nos sistemas de distribuição, o LNEC contribuiu para o cálculo do balanço hídrico e para o sistema de indicadores da Associação Internacional da Água (*International Water Association*, IWA), promovendo o seu uso em Portugal. Analisou e adaptou a Portugal as melhores práticas internacionais de gestão de perdas reais disponíveis à época, publicando-se, em 2005, o Guia Técnico n.º 3 da ERSAR.

Cientes do forte nexus água e energia nos sistemas urbanos de água, desenvolveram-se projetos de investigação e teses de doutoramento, em estreita com colaboração com parceiros de investigação como o Instituto Superior Técnico, centrados no estudo conjunto da eficiência energética e das perdas de água nos sistemas públicos de abastecimento de água, da eficiência energética e das afluências indevidas nos sistemas de drenagem de águas residuais e pluviais e da eficiência energética e da eficácia do tratamento de águas. Estes projetos foram desenvolvidos e aplicados nas Iniciativas Nacionais iPERDAS 2014 e 2016, iAFLUI 2016 e 2019, PAST21 2009 e iEQTA 2017, que envolveram a capacitação de quase 80 entidades gestoras.

Antes do projeto Avaler+ não havia, contudo, uma abordagem integrada que permitisse uma avaliação conjunta da eficácia e eficiência das várias etapas do ciclo urbano de água, para abastecimento de água e gestão de águas residuais e pluviais, desde a captação até à rejeição ou reutilização de água. Com a abordagem Avaler+ passa a ser viável quantificar de forma sistemática as principais ineficiências energéticas dos sistemas urbanos de água e localizar os componentes dos sistemas em que ocorrem, permitindo direcionar as ações a desenvolver prioritariamente.

Estamos por isso convictos da grande valia desta abordagem para a boa execução do Programa Nacional de Investimentos 2030 e do Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais 2030 (PENSAARP 2030).

O projeto Avaler+ foi desenvolvido pelo LNEC, que coordenou, e pelo Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, que agradecem o cofinanciamento do Fundo de Apoio à Inovação e a participação de 13 entidades gestoras nacionais de sistemas de água, onde a abordagem foi testada.

LAURA CALDEIRA

(Presidente do Conselho Diretivo do LNEC)

HELENA ALEGRE

(Diretora do Departamento de Hidráulica e Ambiente do LNEC)

INTRODUÇÃO

O projeto **Avaler+** “Avaliação da eficiência e sustentabilidade energética nos serviços urbanos de águas” teve como objetivo principal estabelecer um quadro de referência claro, integrador e de aplicação simples para avaliação do desempenho energético, apoio na tomada de decisão e monitorização do impacto de medidas de eficiência energética nas entidades gestoras (EG) dos sistemas de abastecimento de água (SAA), e dos sistemas de água residual e pluvial (SARP).

A eficiência e sustentabilidade dos serviços de água requer práticas de avaliação e melhoria contínua do desempenho em ciclos PDCA (*plan-do-check-act*). Por isso, o projeto **Avaler+** assentou no desenvolvimento e teste, nas 13 EG participantes no projeto, de dois “produtos/ferramentas” fundamentais para a melhoria da eficiência energética dos serviços urbanos de água – o sistema de avaliação para todo o ciclo urbano da água e o plano de ação para a sua operacionalização e consequente melhoria contínua do desempenho.

O sistema de avaliação do desempenho energético proposto constitui a peça basilar do ciclo PDCA para melhoria da eficiência energética. Este sistema é composto por critérios, métricas e valores de referência, que permitem avaliar de forma sistemática o desempenho energético de todas as etapas do ciclo urbano da água em termos de consumo, produção, gastos e emissões de gases com efeito de estufa, bem como identificar medidas de melhoria e monitorizar a implementação dessas medidas. Como se explica no capítulo 2, o sistema permite avaliar as 6 etapas do ciclo urbano da água:

SAA

- Captação
- Tratamento
- Transporte e distribuição pública de água para consumo em meio urbano



Figura 1.1 Etapas do ciclo PDCA (“plan-do-check-act”)

SARP

- Drenagem de águas residuais e pluviais
- Tratamento e descarga de águas residuais tratadas
- Reutilização de água

Em quatro níveis de análise e tomada de decisão:

- sistema ou conjunto de sistemas, através do cálculo do peso dos gastos de energia nos gastos operacionais ajustados da EG de serviços urbanos de águas (nível de análise 1);
- etapa dos SAA e SARP (nível de análise 2);
- subsistemas ou componentes específicos de cada etapa, e.g. rede de abastecimento na Área AA1, AA2, AA3 ou ETAR 1, ETAR 2, ETAR 3 (nível de análise 3);
- processos ou equipamentos críticos de cada subsistema ou componente, e.g. estação elevatória EE1, EE2, EE3 ou arejamento, desinfecção, recirculação de lamas (nível de análise 4).

Para a **etapa “Plan” do PDCA**, desenvolveu-se e testou-se uma **metodologia de diagnóstico do desempenho energético e identificação dos principais aspetos a melhorar nos quatro níveis de análise e tomada de decisão**.

O diagnóstico de eficiência energética nos sistemas urbanos de água é tipicamente realizado de forma separada para cada etapa do ciclo urbano da água; além disso, incide muitas vezes apenas sobre a eficiência, não considerando a dimensão de eficácia, através da qual se assegura um nível de serviço adequado.

A abordagem **Avaler+** pretende ultrapassar estas limitações, permitindo um **diagnóstico integrador** da eficiência e eficácia (nos aspetos que afetam/são afetados pela energia consumida) e que atende às interações entre as seis etapas. Além disso, através da análise por níveis, permite um diagnóstico orientado para a localização dos componentes de infraestruturas ou ativos mais problemáticos, aumentando a complexidade de análise na medida da necessidade. Inclui também indicadores de perfil da EG e dos SAA e SARP e indicadores inovadores que permitem comparar o desempenho energético para diferentes tipologias de SAA e SARP. Trata-se, portanto, de uma metodologia com elevado potencial de replicação noutras EG, nacional e internacionalmente.

Uma vez realizado o diagnóstico, suportado no referido quadro de avaliação de desempenho, a etapa **“Plan” do PDCA** deverá incluir a **seleção e priorização de alternativas** que respondam adequadamente ao desempenho técnico desejado e sua análise económica.

Uma vez implementadas as medidas, **etapa “Do” do PDCA**, é necessário apoiar as EG na **sua monitorização (“check”) e revisão (“act”)** com o objetivo de promover a eficiência energética e contribuir para as metas nacionais de eficiência energética.

A monitorização do plano consiste na aplicação do sistema de avaliação para avaliar o impacto da implementação das medidas na melhoria do desempenho e avaliação do grau de implementação das medidas, assim como identificar eventuais desvios ao plano de ação.

A revisão, por sua vez, consiste na análise dos resultados de monitorização e da ocorrência

de desvios ao planeamento, procedendo a ajustes de objetivos, critérios de avaliação, métricas, metas e táticas e no reporte e divulgação de resultados.

A abordagem Avaler+ teve por base trabalho anterior desenvolvido em projetos de I&D e teses de doutoramento, em estreita colaboração com parceiros de investigação como o Instituto Superior Técnico. O trabalho prévio centrou-se no estudo conjunto da eficiência energética e das perdas de água nos sistemas públicos de abastecimento de água, da eficiência energética e das afluências indevidas nos sistemas de drenagem de águas residuais e pluviais, e da eficiência energética e da eficácia do tratamento de águas. Estes projetos foram desenvolvidos e aplicados nas Iniciativas Nacionais iPERDAS 2014 e 2016, iAFLUI 2016 e 2019, PAST21 2009 e iEQTA 2017, que envolveram a capacitação de 77 entidades gestoras.

O Avaler+ veio propor uma abordagem integrada de avaliação da eficiência e eficácia em todo o ciclo urbano da água, que permite quantificar de forma sistemática as principais ineficiências energéticas e localizar os componentes onde ocorrem, direcionando as ações a desenvolver prioritariamente.

Para o desenvolvimento e teste da abordagem Avaler+ foi crucial a participação de entidades gestoras de serviços urbanos de águas. Ao projeto Avaler+ associaram-se as seguintes 13 EG (por ordem alfabética): Águas da Covilhã, E.M., Águas da Figueira, S.A./Aquapor, S.A., Águas da Serra, S.A./AGS, S.A., Águas de Coimbra, E.M., Águas de Santarém, E.M., Águas do Norte, S.A., Águas do Sado, S.A./AGS, S.A., Câmara Municipal do Barreiro, Inframoura, E.M., Inova, E.M., S.A., SMAS de Almada, SMAS de Leiria, TRATAVE, S.A.

Este guia encontra-se estruturado em três partes: diagnóstico (Parte I), priorização de alternativas (Parte II) e monitorização e revisão do plano (Parte III). Em cada parte, descreve-se a metodologia proposta e ilustra-se a sua aplicação em casos reais das EG participantes no Avaler+.

PARTE I

DIAGNÓSTICO

METODOLOGIA PARA DIAGNÓSTICO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS SERVIÇOS URBANOS DE ÁGUA

2.1 Visão geral

O projeto **Avaler+** propõe uma abordagem inovadora para diagnóstico do consumo e eficiência energética em sistemas de abastecimento e em sistemas de águas residuais e pluviais envolvendo os quatro níveis de análise introduzidos no Capítulo 1, como se ilustra na Figura 2.1.

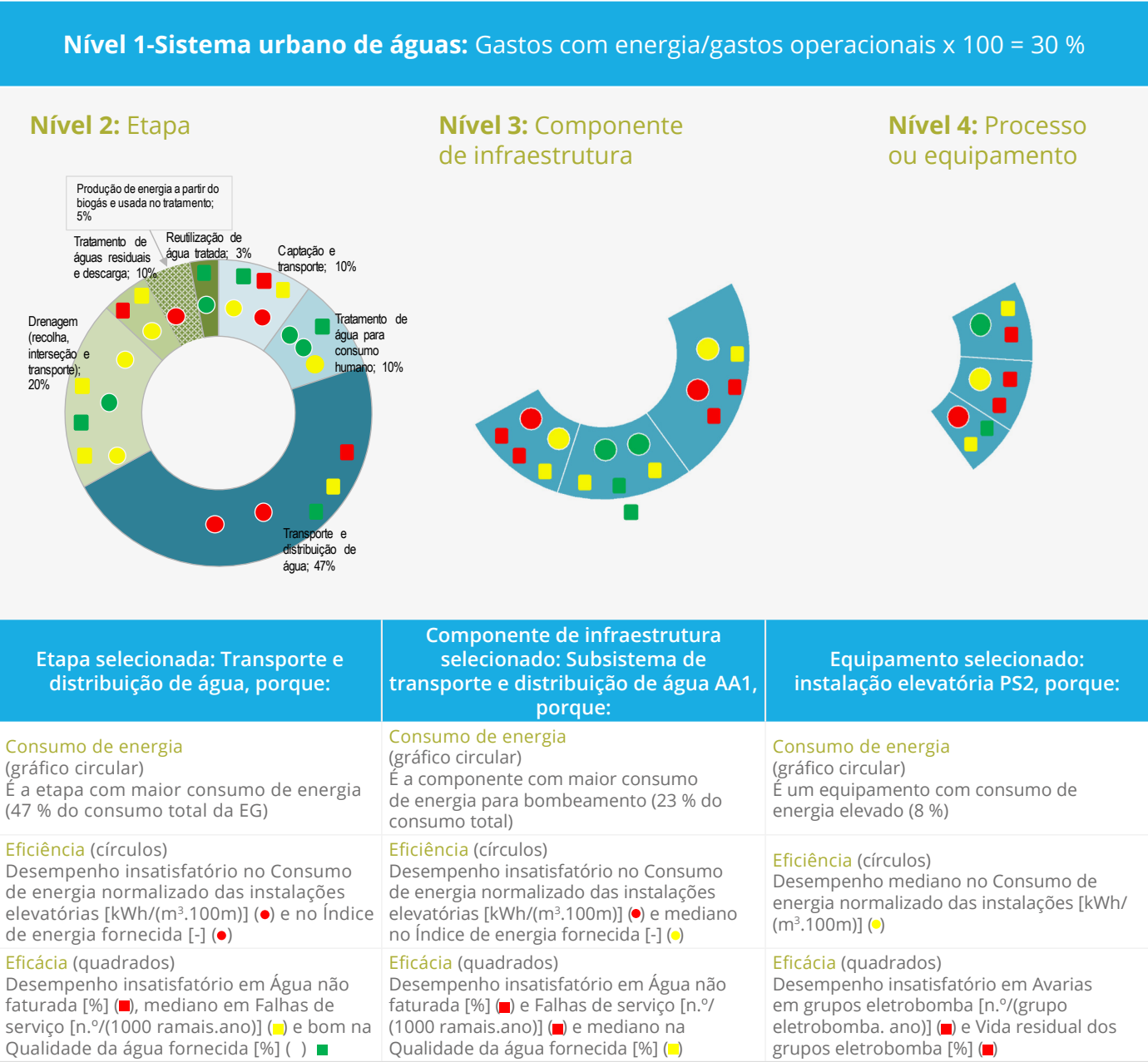


Figura 2.1 Exemplo de aplicação da metodologia (os gráficos circulares em cada nível representam o consumo de energia e as fatias representam os estágios; em cada fatia, os círculos representam os indicadores de eficiência e os quadrados os indicadores de eficácia desse estágio).

O desempenho é avaliado por critérios de **eficiência** e **eficácia** (uma infraestrutura eficiente, mas ineficaz não cumpre a sua missão), métricas de desempenho e valores de referência. A priorização (i.e. a identificação do(s) objeto(s) a avaliar no nível de análise seguinte) tem em consideração (i) o consumo de energia, expresso em kWh (para levar em conta a dimensão do problema) e a fração desse consumo que é assegurada por energia produzida na EG, (ii) a eficiência energética (aspecto nuclear para se avaliar o potencial de melhoria da eficiência no consumo e na produção de energia hidroelétrica ou biogás) e (iii) eficácia das infraestruturas em análise nos aspetos que afetam ou são afetados pelo uso de energia.

As métricas de eficiência energética e eficácia são específicas da etapa, mas são convertidas numa escala tipo semáforo (bom: “verde”, mediano: “amarelo”, insatisfatório: “vermelho”), comparando o valor obtido com os valores de referência correspondentes para cada **nível de desempenho**.

No primeiro nível de análise avalia-se o peso dos gastos com energia nos gastos operacionais, para perceber se aqueles gastos são um driver na sustentabilidade económica do sistema como um todo. Seguidamente, utiliza-se o sistema de avaliação para os níveis 2 a 4.

2.2 Sistema de avaliação

2.2.1 Indicadores de perfil da EG e dos sistemas SAA e SARP

O sistema de avaliação da eficiência energética integra indicadores para caracterização do perfil da EG e dos sistemas de abastecimento de água e de águas residuais e pluviais (Quadro 2.1).

2.2.2 Indicadores de desempenho para os níveis de análise 1 a 3

No Quadro 2.2 apresenta-se o sistema proposto para avaliação da eficiência energética nos serviços urbanos de águas nos níveis 1 a 3 segundo as várias etapas do ciclo urbano da água: i) captação e transporte de água, ii) tratamento de água para consumo humano; iii) transporte e distribuição de água, iv) recolha e transporte das águas residuais e pluviais, v) tratamento de águas residuais e descarga e v) reutilização de água tratada.

Na metodologia **Avaler+**, as etapas de captação, transporte e distribuição de água para consumo público devem ser analisadas conjuntamente, pois dependem entre si e a eficiência energética deve ser analisada da origem ao ponto de consumo. Propõe-se que se adotem os mesmos indicadores para a etapa de transporte e distribuição de água para reutilização.

As variáveis, a formulação e os valores de referência dos indicadores de eficiência energética estão apresentados no Quadro 2.3 e dos indicadores de eficácia no Quadro 2.4 e no Quadro 2.5. Estes valores permitem o julgamento do desempenho, traduzindo o resultado dos indicadores em desempenho bom, mediano ou insatisfatório, e foram obtidos a partir de valores da legislação (e.g., cumprimento dos requisitos de qualidade da água), recomendações de boas práticas propostas pelo regulador dos serviços, valores da bibliografia ou dados históricos das EG.

Os indicadores dos SAA e os de tratamento de água e água residual foram desenvolvidos e testados noutros projetos do LNEC. Os indicadores de eficiência energética baseiam-se

maioritariamente no balanço energético ao sistema em estudo. Os indicadores de eficácia em SAA relativamente à qualidade da água nos pontos de consumo da rede analisam, na sua maioria, as médias dos 10% de valores mais elevados (ou mais baixos, conforme aplicável) e em tratamento de água e de água residual a qualidade da água tratada e a conformidade com a licença de descarga.

Ao contrário do indicador de água segura calculado pela EG com todos os valores registados, os indicadores de eficácia em SAA do sistema **Avaler+** não pretendem avaliar a conformidade da água, mas sim “amplificar” (e, assim, facilitar a deteção de) eventuais desvios aos valores desejados que são afetados/afetam os consumos de energia.

Os indicadores de eficiência energética na etapa de drenagem foram desenvolvidos neste projeto. Embora a proporção de energia consumida nos sistemas de recolha e transporte de águas residuais e pluviais seja tipicamente menor do que nas etapas de captação, transporte e distribuição e de tratamento de águas residuais, o potencial de melhoria de eficiência pode ser significativo.

A necessidade de aumentar a cobertura de serviço, em muitos casos através de energia de bombeamento, e os elevados volumes de afluições indevidas nestes sistemas de drenagem são dos aspetos mais condicionantes da eficiência energética. Deste modo, além de avaliar a eficiência dos equipamentos para bombeamento de águas residuais (Spellman 2013, Naik e Strenstrom 2016, ERSAR e LNEC 2017), é importante atender também a outros aspetos, como a energia necessária para limpeza da rede de coletores e para recolha de águas residuais a partir de fossas sépticas, e a energia dissipada através do traçado da rede e das afluições indevidas.

À semelhança do que é feito nos sistemas de abastecimento de água, para uma avaliação sistémica da eficiência energética propõe-se o indicador de “Energia em excesso por volume de água residual faturada” (kWh/m³), obtido com base no cálculo do balanço energético para sistemas de recolha e transporte de águas. De modo a quantificar as origens de ineficiência, propôs-se em PISOIRO *et al.* (2020) a decomposição da energia em excesso em energia dissipada por traçado e operação, ineficiência nos equipamentos e devida a afluições indevidas.

A limpeza de coletores representa um consumo de energia expressivo em várias EG, por isso propõe-se um indicador de eficiência e um de eficácia. O indicador de eficiência “Consumo de energia na limpeza de coletores” avalia a energia gasta por comprimento de coletor (kWh/km). O indicador de eficácia “Sedimentos removidos” (ton/km) quantifica os sedimentos retirados do sistema, dos que afluem à rede e que podem variar consoante o tipo de sistema, o seu traçado, altimetria e tipo de solo que atravessam ou drenam. Este indicador reflete também a falta de capacidade do sistema para transportar os mesmos. Para contabilização dos sedimentos deve considerar-se o peso de matéria seca relativo a areais e a elementos grosseiros (gradados).

A drenagem de fossas sépticas é também prática corrente de muitas EG, pelo que se propõe também o indicador “Consumo de energia na drenagem de fossas sépticas” (kWh/m³).

Para a(s) etapa(s) crítica(s), isto é, para a(s) etapa(s) que representa(m) um consumo relevante de energia (avaliado pelo tamanho da fatia da coroa circular correspondente a essa etapa) e um desempenho insatisfatório (bola vermelha) ou mediano (bola amarela) nos indicadores-chave, o diagnóstico deve ser feito por componente ou subsistema da etapa crítica. Nos casos em que não seja óbvia a decisão, esta deve ser apoiada também na

avaliação do desempenho global do desempenho, de modo a identificar os componentes de infraestrutura ou processos ou equipamentos com pior desempenho e que também devem ser selecionados para uma análise mais aprofundada. Há tipicamente problemas associados a ineficiências operacionais (e.g., alteração do funcionamento, de forma a que os grupos eletrobomba funcionem mais próximo da gama de valores de maior rendimento) que, por darem origem a medidas de implementação fácil e com benefício rápido, permitem alcançar ganhos rápidos e não exigem uma análise tão aprofundada.

Os componentes ou subsistemas críticos devem merecer especial atenção, com uma análise mais aprofundada ao nível dos processos ou do equipamento.

Aos indicadores de eficiência energética acrescem os indicadores de eficácia que afetam/ são afetados pela energia consumida (quadrados), já que o sistema tem de ser eficaz, i.e., tem de cumprir a sua função (em quantidade e qualidade da água/água residual).

Quadro 2.1 Indicadores de perfil da EG e dos sistemas de abastecimento de água e de águas residuais e pluviais

Global (EG)	Sistema de abastecimento de água (SAA)	Sistema de águas residuais e pluviais (SARP)
Gastos com energia, %	Gastos com energia no SAA, %	Gastos com energia no SARP, %
-	Alojamentos com serviço efetivo de AA, %	Alojamentos com serviço efetivo de ARP, %
Consumo de energia per capita, kWh/(hab.ano)	Consumo de energia por alojamento com serviço efetivo de AA, kWh/(alojamento.ano)	Consumo de energia por alojamento com serviço efetivo de ARP, kWh/(alojamento.ano)
	Consumo de energia por consumo autorizado de AA, kWh/m³	Consumo de energia por volume tratado de ARP, kWh/m³
Produção própria de energia a partir da água, %	Produção própria de energia a partir da AA, %	Produção própria de energia a partir de ARP, %
Emissões indiretas de GEE provenientes de energia adquirida ao exterior, kg CO _{2e} /(hab.ano)	Emissões indiretas de GEE provenientes de energia adquirida ao exterior para funcionamento do SAA, kg CO _{2e} /(pop. servida.ano)	Emissões indiretas de GEE provenientes de energia adquirida ao exterior para funcionamento do SARP, kg CO _{2e} /(pop. servida.ano)
-	Tipo de tratamento de AA (volume por tipo), %	Tipo de tratamento de ARP (volume por tipo), %
-	Captações (superficiais, subterrâneas), estações de tratamento, ramais, estações elevatórias e reservatórios, n.º; comprimento de rede (km)	Comprimento total de coletores pseudo-separativos ou unitários, separativos de AR, separativos de AP, km; estações elevatórias, estações de tratamento, emissários submarinos, n.º

Quadro 2.2 Sistema de avaliação da eficiência energética nos serviços urbanos de águas para os níveis de análise 1 a 3 (AA – abastecimento de água, ApR – água para reutilização, ARP – água residual e pluvial) (Loureiro et al. 2020a).

Critério	Captação, transporte e distribuição	Drenagem (Recolha e transporte)	Tratamento AA	Tratamento ARP	Tratamento para reutilização
Perfil	Consumo de energia em cada etapa, %				
Eficiência energética	Consumo de energia normalizado das instalações elevatórias, kWh/(m³.100m) (volume bombeado em cada instalação elevatória)		Consumo de energia no tratamento, kWh/m³		
	Energia fornecida em excesso, kWh/m³ (consumo calculado por volume de água em consumo autorizado ou por volume de água residual faturada)	-	-	Consumo de energia por massa removida, kWh/kg	
				Produção de energia a partir do biogás, kWh/m³ (de água tratada)	-
	-	Consumo de energia na limpeza de coletores, kWh/km (de rede de coletores)	Consumo de energia no encaminhamento de lamas, kWh/m³ (de água tratada)		
Consumo de energia na drenagem de fossas sépticas, kWh/m³ (de lama recolhida)					
Eficácia	Água não faturada, %	Água residual recolhida/Água faturada, %	Qualidade da água tratada, %	Água tratada/água residual bruta, %	Conformidade com a licença de produção de ApR (água para reutilização)
	Falhas na rede n.º/(pto entrega.ano) ou n.º/(1000 ramais.ano)	Ocorrência de inundações, n.º/(100 km.ano) ou n.º/(1000 ramais.ano)			
	Cloro (máx., min), THM e microbiologia nos pontos de consumo, %	Controlo de descargas de emergência, %			
		Sedimentos removidos, ton/km (de rede de coletores)			

Quadro 2.3 Indicadores de desempenho de eficiência energética nos serviços urbanos de águas para os níveis de análise 1 a 3 (Loureiro et al. 2020a).

Indicador de desempenho	Formulação	Valores de referência Bom (), mediano () e insatisfatório ()
aE2, dE2, wcE2, wrE2 Consumo de energia normalizado das instalações elevatórias (kWh/(m³.100m))	Consumo de energia para bombeamento / Soma do volume elevado multiplicado pela altura de elevação / 100	aE2, dE2 (AA e ApR) • [0,27; 0,40]; •]0,40; 0,54]; •]0,54; 5] wcE2, wrE2 • [0,27; 0,45]; •]0,45; 0,68]; •]0,68; 5]
aE20, dE20, wcE20, wrE20 Energia fornecida em excesso (kWh/m³)	Energia fornecida em excesso / Volume de consumo autorizado ou volume de água residual faturada	aE3 (AA e ApR) • [0; 0,40]; •]0,40; 1,0]; •]1,0; +∞[dE3 (AA e ApR) • [0; 0,15]; •]0,15; 0,30]; •]0,30; +∞[wcE3 and wrE4 • [0; 0,40]; •]0,40; 1,0]; •]1,0; +∞[
wcE4 Consumo de energia na limpeza de coletores (kWh/km)	Consumo de energia na limpeza de coletores / Comprimento de coletores	
wcE5 Consumo de energia na drenagem de fossas sépticas (kWh/m³)	Consumo de energia na drenagem de fossas sépticas / Volume de água recolhido de fossas sépticas	
tE3, wtE4, wrE6 Consumo no encaminhamento de lamas (kWh/m³)	Consumo no encaminhamento de lamas / Volume de água tratada	
tE2, wtE2, wrE3 Consumo de energia no tratamento (kWh/m3)	Consumo de energia no tratamento / Volume de água tratada	wtE2, exemplo para tratamento por lamas ativadas • ≤ 0,280 + 1192/TW; • ≥ 0,350 + 1490/TW •]0,280 + 1192/TW; 0.350 + 1490/TW[TW = água tratada [m³] tE2, exemplo para tratamento com pré-oxidação > 5000 m³/d: • ≤ 0,055; •]0,055; 0,070]; • ≥ 0,070 ≤ 5000 m³/d: • ≤ 0,070; •]0,070; 0,085]; • ≥ 0,085
wtE3, wrE5 Consumo de energia por massa removida (kWh/kg)	Consumo de energia no tratamento / Massa removida	wtE3, para consumo de CBO ₅ de massa removida • ≤ 2; •]2; 10]; • ≥ 10
wtE5 Produção de energia a partir do biogás (kWh/m³)	Energia produzida a partir do biogás / volume de água tratada	wtE5 • ≥ 0,0009 CBO ₅ ; • [0,0007 CBO ₅ ; 0,0009 CBO ₅]; • < 0,0007 CBO ₅ CBO ₅ = CBO ₅ afluente [mg/L]

Quadro 2.4 Indicadores de desempenho de eficácia nas etapas de captação, transporte e distribuição, para os níveis de análise 1 a 3 (Loureiro et al. 2020a)

Indicador de desempenho	Formulação	Valores de referência Bom (), mediano (●) e insatisfatório (●)
aE4 Falhas na rede n.º/(pto entrega.ano) ou dE4 n.º/(1000 ramais.ano)	Captação e transporte: Falhas/Alojamentos com serviço efetivo de AA Transporte e distribuição:Falhas/Ramal de ligação no transporte e distribuição x 1000	aE4, captação e transporte ● 0,0; ●]0,0; 0,20]; ●]0,20; +∞[dE4, transporte e distribuição ● [0,0; 1,0]; ●]1,0; 2,5]; ●]2,5; +∞[
aE5, dE5 Água não faturada (%)	Água não faturada / Água entrada no sistema	aE5, captação e transporte ● [0; 5]; ●]5; 7,5]; ●]7,5; 100] dE3, transporte e distribuição ● [0; 20]; ●]20; 30]; ●]30; 100]
[dE6] Cloro residual mínimo nos pontos de entrega ou consumo, %	Média dos 10% de valores mais baixos em cloro residual nos pontos de entrega ou consumo / Valor mínimo recomendado de cloro residual livre x 100	Pontos de entrega: ● >150; ● [100; 150]; ● < 100 Pontos de consumo: ● [150; 250]; ● [100; 150[ou]250; 300]; ● < 100 ou > 300
[dE7] Cloro residual máximo nos pontos de consumo, %	Média dos 10% de valores mais elevados em cloro residual nos pontos de consumo / Valor máximo recomendado de cloro residual livre x 100	Pontos de consumo ● [50; 80]; ● [33; 50[ou]80; 100]; ● > 100 ou < 33
[dE8] Valores mais elevados em THM nos pontos de entrega ou consumo, %	Média dos 10% de valores mais elevados em THM nos pontos de entrega ou consumo / Valor paramétrico de THM x 100	● ≤ 50; ●]50; 100]; ● > 100
[dE9] Valores mais elevados em parâmetros microbiológicos nos pontos de entrega ou consumo dE9.0a E. coli (n.º/100 mL) dE9.0b Enterococos (n.º/100 mL) dE9.0c Bactérias coliformes (n.º/100 mL) dE9.0d C. perfringens (n.º/100 mL) dE9.0e Colónias a 22 °C (%) dE9.0f Colónias a 36 °C (%)	dE9.0a a dE9.0d: Média dos 10% de valores mais elevados do parâmetro microbiológico nos pontos de entrega ou consumo dE9.0e e dE9.0f: Média dos 10% de valores mais elevados do parâmetro microbiológico nos pontos de entrega ou consumo / Valor máximo recomendado do parâmetro microbiológico x 100	dE9.0a a dE9.0d: ● 0; ● > 0 dE9.0e e dE9.0f: ● ≤ 50; ●]50; 100]; ● > 100

Quadro 2.5 Indicadores de desempenho de eficácia nas etapas de drenagem e tratamento, para os níveis de análise 1 a 3 (Loureiro et al. 2020a)

Indicador de desempenho	Formulação	Valores de referência Bom (), mediano (●) e insatisfatório (●)
wcE6 Água residual recolhida (%)	Água residual recolhida / Água residual faturada x 100	wcE6 ● [90; 110]; ● [70; 90[ou]110; 130] ●]0; 70[ou]130; +∞[
wcE7 Ocorrência de inundações, n.º/(100 km.ano) ou n.º/(1000 ramais.ano)	Transporte de AR: Inundações / Comprimento total de rede x 100 Recolha de AR: Inundações / Ramais de ligação x 1000	wcE7, transporte de AR ● [0; 0,5]; ●]0,5; 2,0]; ●]2,0; +∞[wcE7, recolha de AR ● [0; 0,25]; ●]0,25; 1,0]; ●]1,0; +∞[
wcE8 Controlo de descargas de emergência (%)	Descarregadores monitorizados e com funcionamento aceitável / Descarregadores x 100	wcE8 ● [90; 100]; ●]80; 90]; ● [0; 80]
wcE9 Sedimentos removidos, ton/km (de rede de coletores)	Sedimentos removidos / Comprimento total de rede	wcE9
tE5 Qualidade da água tratada (%)	Número de análises realizadas com valor limite definido pela EG / Análise realizadas	● [98,5; 100]; ● [94,5; 98,5]; ● [0; 94,5[
tE4, wtE6, wrE7 Água tratada (%)	Água tratada / (Água bruta + Água fresca) x 100	●]90; 100]; ●]80; 90]; ● [0; 80]
wtE7 Conformidade com a licença de descarga (%)	(Somatório da conformidade com o parâmetro “I” / parâmetros requeridos analisados) x (análises realizadas/ análises requeridas) x 100	● 100; ● < 100
wrE8 Conformidade com a licença de produção de ApR (água para reutilização) (%)	(Análises conformes / análises realizadas) x (análises requeridas realizadas/análises requeridas) x 100	● [95; 100]; ● [82; 95]; ● [0; 82[

2.2.3 Métricas de desempenho para o nível de análise 4

Ao nível das instalações elevatórias ou de conjuntos de grupos com características idênticas, em termos de potência do motor, caudal e altura de elevação, propõe-se um indicador principal e quatro complementares para avaliação da eficiência energética e de aspetos que podem condicionar a eficiência ou a eficácia do serviço (Quadro 2.6).

Estes indicadores podem ser aplicados a equipamentos de bombeamento associados a qualquer etapa do ciclo urbano da água (i.e., captação e transporte de água, tratamento de água para consumo humano, transporte e distribuição de água, recolha e transporte das águas residuais e pluviais, tratamento de águas residuais e descarga, reutilização de água tratada).

Para o indicador “Rendimento de instalações elevatórias” foram considerados os valores de referência recomendados por ERSAR e LNEC (2017).

Para o indicador “Vida residual” consideraram-se como base os valores de boas práticas recomendados por Alegre e Covas (2010) para o cálculo do Índice de valor da rede.

Quadro 2.6 Indicadores de desempenho de eficiência e de eficácia de instalações elevatórias ou equipamento de bombeamento associado a qualquer etapa do ciclo urbano da água (nível 4) (Loureiro et al. 2020b).

Indicador de desempenho	Formulação	Valores de referência Bom (), mediano (●) e insatisfatório (●)
Consumo de energia normalizado das instalações elevatórias [kWh/(m³.100 m)]	Consumo de energia para bombeamento / Fator de uniformização	Captação, transporte, distribuição AA ● [0,27; 0,4]; ● [0,4; 0,54]; ● [0,54; +∞[Recolha e transporte ARP ● [60; 0,45]; ● 0,45; 0,68]; ● [0,68; +∞[
Indicadores complementares		
Rendimento de instalações elevatórias, η calculado (%)	Energia útil do escoamento / Energia elétrica x 100	Captação, transporte, distribuição AA ● [68; 100]; ● [50; 68]; ● [0; 50[Recolha e transporte ARP ● [60; 100]; ● [40; 60]; ● [0; 40[
Rácio entre o caudal bombeado e o caudal nominal (%)	Caudal médio bombeado / Caudal nominal da bomba x100	Captação, transporte, distribuição A Recolha e transporte ARP ● [90; 105]; ● [70; 90[ou]105; 120]; ● [0; 70[ou]120; 150]
Rácio da vida residual (-)*	(Vida útil - idade) / Vida útil	Captação, transporte, distribuição A Recolha e transporte ARP ● [0,4; 1,0]; ● [0,2; 0,4] ● [0; 0,2[
Rácio entre o desnível geométrico e a altura de elevação (%)	(Carga hidráulica a montante - carga hidráulica a jusante) / altura de elevação x 100	-
Taxa de degradação (%/ano)	(Rendimento esperado-rendimento calculado) / idade x 100	-

* caso os grupos sejam diferentes entre si, utilizar a potência instalada como critério de ponderação

Estudos existentes (Myles 2002, LBNL 2006) recomendam como boa prática que os grupos eletrobomba operem próximo do ponto de máxima eficiência; caso tal não seja possível, recomendam 70-80% quando for inferior ao caudal nominal, e 110-120% quando for superior ao caudal nominal. A operação fora destas gamas pode trazer vários problemas, como o excesso de vibração no equipamento e a cavitação, que podem comprometer o bom funcionamento destes equipamentos e levar a uma maior degradação do rendimento ao longo do tempo, ocorrência de avarias e consequente diminuição da vida útil.

Para apoiar na interpretação dos resultados dos indicadores, estimou-se também, por consulta dos catálogos dos fabricantes, o rendimento ótimo e o rendimento esperado para as condições médias de funcionamento em termos de caudal e de altura de elevação.

Em relação ao tratamento de água e águas residuais, nos níveis de análise 2 e 3, as métricas utilizadas foram indicadores de desempenho que avaliam o tratamento (etapa) e cada ETAR (componente de infraestrutura) como um todo, numa base anual. No nível 4 (por processo), foram propostos índices de desempenho (PX), concebidos para avaliar e melhorar o desempenho diário de cada processo de tratamento em termos de funcionamento dos órgãos.

Enquanto os valores calculados dos PI não emitem juízo em termos do maior ou menor desempenho, sendo necessária a comparação com os valores de referência, nos PX os valores de referência são intrínsecos às funções de desempenho, que convertem as variáveis de estado (consumo de energia em cada processo, condições de operação) em índices na escala 0-300, onde: 300 corresponde a desempenho “excelente”; valores entre 300 e 200 traduzem desempenho “bom”; valores entre 200 e 100 traduzem desempenho “mediano”; o valor 100 corresponde ao desempenho “mínimo aceitável”; valores inferiores a 100 traduzem um desempenho “insatisfatório” e um índice zero significa que há “ausência” ou interrupção da função.

As funções de desempenho são definidas pelos valores de referência de cada nível de desempenho (Silva et al. 2016). Para ambas as métricas (PI e PX), os valores de referência são os principais elementos para julgar o desempenho e foram desenvolvidos para definir um gráfico de desempenho intuitivo e com facilidade de leitura, tipo “semáforo”, onde verde representa desempenho bom, amarelo desempenho mediano e vermelho desempenho insatisfatório.

Os indicadores e o seu julgamento permitem identificar alertas no consumo de energia na estação de tratamento como um todo e, em seguida, os índices permitem avaliar cada processo e identificar oportunidades de melhoria. As variáveis de estado para os índices de desempenho da ETAR e da ETA estão definidas no Quadro 2.7 e no Quadro 2.8.

Relativamente à eficiência energética dos processos, avalia-se o consumo de energia em cada processo e também as condições de operação que determinam/influenciam esse consumo de energia. A eficiência do equipamento não é avaliada em si, mas os valores de referência dos índices de consumo de energia têm em consideração as eficiências típicas. Assim, através da análise integrada dos índices de consumo de energia e dos índices das condições de funcionamento, é possível identificar oportunidades de melhoria no funcionamento diário ou nas (in)eficiências do equipamento.

Quadro 2.7 Indicadores de desempenho de eficiência e de eficácia de instalações elevatórias ou equipamento de bombeamento associado a qualquer etapa do ciclo urbano da água (nível 4)

Processo	Variáveis de estado para os índices de desempenho	Unidades
Bombeamento	Consumo específico de energia para bombeamento	Wh/m³
Igualização	Consumo específico de energia para mistura	Wh/m³
Mistura	Consumo específico de energia para mistura	Wh/m³
	Gradiente de velocidade	s ⁻¹
	Tempo de retenção	s
Floculação	Consumo específico de energia para mistura	Wh/m³
	Gradiente de velocidade	s ⁻¹
	Tempo de retenção	s
Sedimentação primária	Consumo específico de energia para purga de lamas	Wh/m³
	Matéria seca da lama primária	%
Tratamento secundário com lamas ativadas	Consumo específico de energia para arejamento e mistura	Wh/m³
	Oxigénio dissolvido no tanque de arejamento	mg O ₂ /L
	Consumo específico de energia para mistura anóxica	Wh/m³
	Consumo específico de energia para recirculação	Wh/m³
	Recirculação de lamas	%
	Consumo específico de energia para purga de lamas em excesso	Wh/m³
	Idade das lamas	d
	Tempo de retenção	h
Tratamento secundário com leitos percoladores	Consumo específico de energia para recirculação	Wh/m³
	Carga orgânica	kg CBO ₅ /(m³.d)
	Carga hidráulica	m³/(m².d)
	Recirculação	-
	Matéria seca da lama em excesso	%
Desinfeção UV	Consumo específico de energia para desinfeção	Wh/m³
	Dose de UV	mJ/cm²
	SST da água a desinfetar	mg/L

Quadro 2.8 Indicadores de desempenho de eficiência e de eficácia de instalações elevatórias ou equipamento de bombeamento associado a qualquer etapa do ciclo urbano da água (nível 4)

Processo	Variáveis de estado para os índices de desempenho	Unidades
Bombeamento	Consumo específico de energia para bombeamento	Wh/m ³
Pré-oxidação	Consumo específico de energia	Wh/m ³
Mistura rápida	Consumo específico de energia para mistura	Wh/m ³
	Gradiente de velocidade	s ⁻¹
	Tempo de retenção	s
Floculação	Consumo específico de energia para mistura	Wh/m ³
	Gradiente de velocidade	s ⁻¹
	Tempo de retenção	s
Sedimentação	Consumo específico de energia para purga de lamas	Wh/m ³
	Matéria seca da lama	%
Filtração	Consumo específico de energia para lavagem dos filtros	Wh/m ³
	Velocidade de lavagem (água, ar)	m/h
	Duração da lavagem (água, ar)	h
	Turvação da água tratada	UNT
Desinfecção com cloro	Consumo específico de energia para doseamento de cloro	Wh/m ³

Para os índices de consumo de energia em cada processo na ETAR, os valores de referência propostos dependem, naturalmente, dos valores de dimensionamento e do projeto da ETAR (volumes dos órgãos, alturas de elevação) e das flutuações diárias de caudal e concentração, como se explica em Silva e Rosa (2021).

Os usos relacionados com o bombeamento, ou seja, o bombeamento principal, a extração de lamas na decantação primária, a recirculação no tratamento biológico e a extração de lamas em excesso, dependem da altura de elevação da bomba. A extração de lamas dos reatores de lamas ativadas depende ainda do tempo de retenção hidráulico. A recirculação nos leitos percoladores depende da concentração afluente e da concentração-objetivo à saída, da carga orgânica ou da carga hidráulica.

Os valores de referência para a mistura em zonas arejadas, anóxicas e anaeróbias e em bacias de igualização dependem do tempo de retenção hidráulico, enquanto para a mistura rápida e floculação dependem do tempo de retenção e da temperatura.

Em relação ao arejamento no tratamento biológico por lamas ativadas, os valores de referência são função da concentração afluente de CBO₅, da transferência de oxigénio (N) e da produção de lamas. Por exemplo, para uma concentração afluente de 100 mg/L, o consumo de energia de 100 Wh/m³ representa um desempenho insatisfatório, enquanto o mesmo consumo de energia com uma concentração afluente de 200 mg/L corresponde a um desempenho bom (Silva et al. 2016).

A transferência de oxigénio varia com o tipo de arejador (N₀), a temperatura, o oxigénio dissolvido e a altitude. A produção de lamas varia com os sólidos suspensos no licor misto (X), a idade das lamas (θ_c) e o tempo de retenção hidráulico (θ).

As variáveis necessárias para o cálculo das variáveis de estado e para o cálculo dos valores de referência estão apresentadas em Silva e Rosa (2021) e em Loureiro et al. (2020a).

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PARA DIAGNÓSTICO NA EG J

3.1 Perfil da EG J

A EG J é responsável pelas seguintes etapas dos sistemas urbanos de águas: i) captação e transporte, ii) transporte e distribuição de água, iv) recolha e transporte de águas residuais, v) tratamento e descarga de águas residuais. Neste projeto, para uma análise de eficiência energética desde a origem até ao consumidor final (from source to tap), agregaram-se as etapas de captação, transporte e distribuição de água. A EG não possui estações de tratamento de água, apenas pequenas instalações de tratamento cujo consumo de energia foi considerado desprezável. É responsável pela gestão de 726 km de condutas e 7 estações elevatórias em SAA, de 434 km de rede separativa de águas residuais urbanas, 35 km de rede pseudo-separativa ou unitária, 27 estações elevatórias em SAR e 4 ETAR (RASARP 2018, elaborado com dados de 2017). Os Quadro 3.1, Quadro 3.2 e Quadro 3.3 apresentam os resultados dos indicadores que caracterizam o perfil da EG, calculados com base na informação cedida pela entidade relativa ao ano de 2017.

Quadro 3.1 Perfil da EG J a nível global

Código	Indicador	Unidades	2017
gE1	Gasto de energia	%	10,4
gE2	Consumo de energia	kWh/hab/ano	81,3
gE3	Produção própria de energia	%	8,0
gE4	Emissões indiretas de GEE (provenientes de energia adquirida ao exterior)	kg CO _{2e} /hab/ano	28,8

Quadro 3.2 Perfil da EG J no Sistema de Abastecimento de Água (SAA)

Código	Indicador	Unidades	2017
dwE1	Gastos de energia em SAA	%	6,5
dwE2	Alojamentos com serviço efetivo de AA	%	91,9
dwE3	Consumo de energia em SAA	kWh/alojamento/ano	109,4
dwE4	Consumo de energia em SAA por consumo autorizado	kWh/m³	2,9
dwE5	Produção própria de energia no tratamento AA	%	0,0
dwE6	Emissões indiretas de GEE do SAA (provenientes de energia adquirida ao exterior)	kg CO _{2e} /alój./ano	42,7
	Estações de tratamento	n.º	0*
	Estações elevatórias	n.º	7*
	Comprimento total de condutas	km	726*

* RASARP (2018)

Quadro 3.3 Perfil da EG J no Sistema de Águas Residuais (SAR)

Código	Indicador	Unidades	2017
wwE1	Gastos de energia em SAR	%	3,9
wwE2	Alojamentos com serviço efetivo de AR	%	90,6
wwE3	Consumo de energia em SARP por alojamento	kWh/(alojamento.ano)	56,3
wwE4	Consumo de energia em SARP por volume tratado	kwh/m³	0,7
wwE5	Produção própria de energia no tratamento AR	%	23,7
wwE6	Emissões indiretas de GEE do SARP (provenientes de energia adquirida ao exterior)	kg CO _{2e} /Aloj./ano	16,0
wwE7	Tipo de tratamento – Lamas Activadas	%	100,0
	Estações de tratamento	n.º	4
	Estações elevatórias	n.º	27*
	Comprimento total de coletores pseudo-separativos ou unitários	km	35*
	Comprimento total de coletores separativos de águas residuais urbanas	km	434*
	Comprimento total de coletores separativos de águas pluviais	km	0*

* RASARP (2018)

3.2 Diagnóstico global (nível 1)

Na EG J, os gastos com energia em sistemas de abastecimento de água (SAA) e em sistemas de águas residuais (SAR) representaram, em 2017, 10% dos gastos operacionais (Figura 3.1).

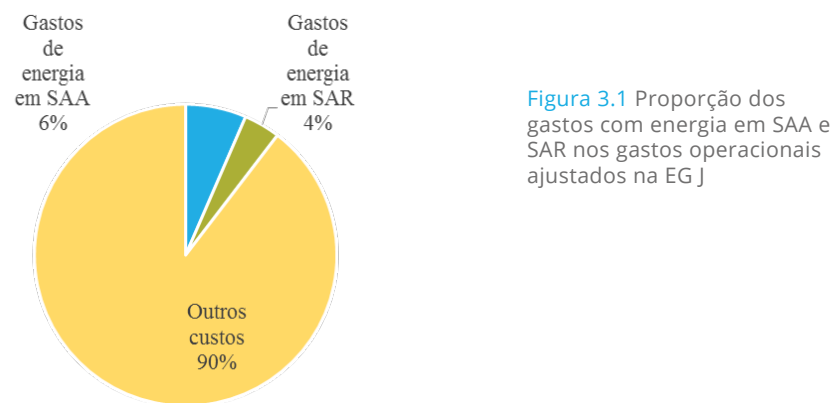


Figura 3.1 Proporção dos gastos com energia em SAA e SAR nos gastos operacionais ajustados na EG J

3.3 Diagnóstico por etapa (nível 2)

3.3.1 Etapas do ciclo urbano da água geridas pela EG J

Aplicando a metodologia ao nível de análise 2 (etapa) na EG J, a Figura 3.2 mostra que a etapa de captação, transporte e distribuição de água foi a que consumiu em 2017 mais energia (67%), seguida da etapa de tratamento e descarga de águas residuais (26%) e da etapa de drenagem de águas residuais (7%).

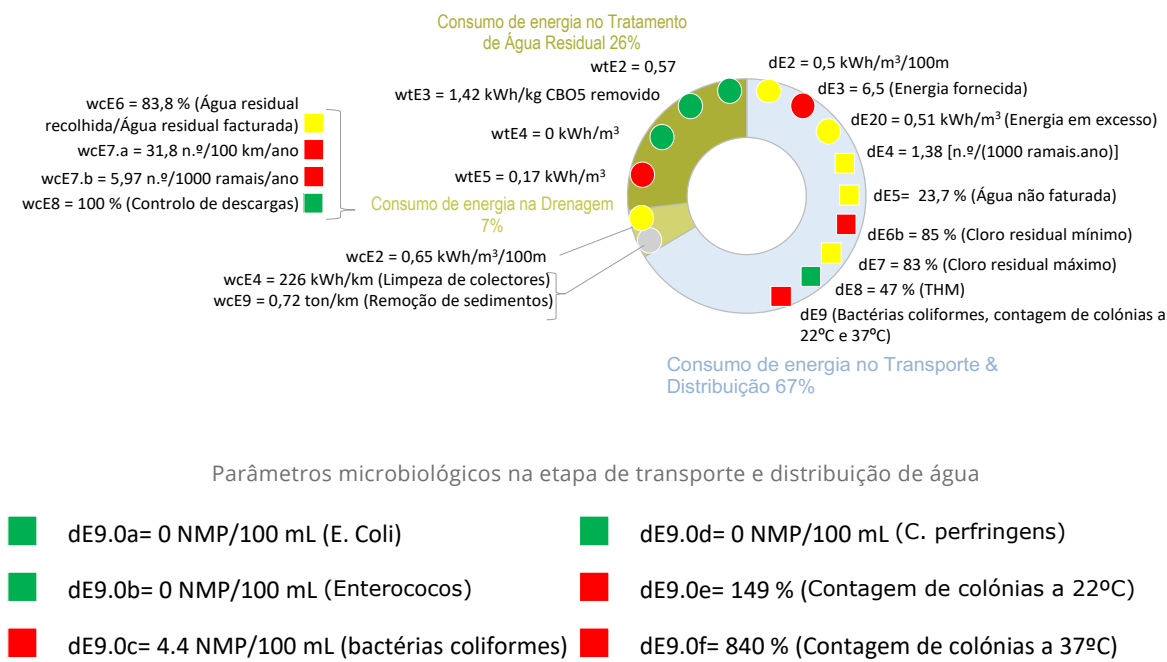


Figura 3.2 Consumo de energia, eficiência energética e eficácia na EG J nas três etapas do seu sistema urbano de águas (nível de análise 2) em 2017 (as fatias do gráfico circular representam o consumo de energia nas várias etapas; em cada fatia, os círculos representam os indicadores de eficiência e os quadrados os indicadores de eficácia desse estágio)

3.3.2 Etapa de captação, transporte e distribuição de água

A avaliação do desempenho energético destas etapas assenta no balanço energético.

A Figura 3.3 apresenta o balanço energético no sistema de captação, transporte e distribuição calculado relativamente a uma cota de referência (cota mínima de consumo de 3 m). Uma vez que o sistema é abastecido por captações subterrâneas, localizadas abaixo da cota de referência, a energia potencial gravítica é negativa neste caso. Além da energia dissipada por ineficiência no equipamento de bombeamento (35,4% da energia fornecida), a energia em excesso inclui também a energia dissipada por perdas de água (23,5% da energia fornecida) e a energia dissipada por traçado e operação (16,7% da energia fornecida). Os indicadores dE3 (Índice de energia fornecida) e dE20 (Energia fornecida em excesso) foram obtidos através do balanço energético.

Na etapa de captação, transporte e distribuição de água (que representa 67% do consumo total de energia na EG, Figura 3.2), os equipamentos de bombeamento apresentam potencial de melhoria de eficiência – o dE2 “Consumo de energia normalizado das instalações elevatórias” apresenta um desempenho mediano (círculo amarelo, Figura 3.2), o dE3 “Índice de energia fornecida” um desempenho insatisfatório (círculo vermelho), e o dE20 “Energia fornecida em excesso” um desempenho mediano (Figura 3.2).

Estes indicadores consideram no seu cálculo a energia fornecida por gravidade e por bombeamento e avaliam ainda outras dimensões da eficiência energética além das relacionadas com o equipamento de bombeamento, com impacto no consumo de energia, designadamente a energia dissipada em perdas de água e no traçado/operação – respetivamente, 23,5% e 16,7% da energia fornecida ao sistema (Figura 3.3).

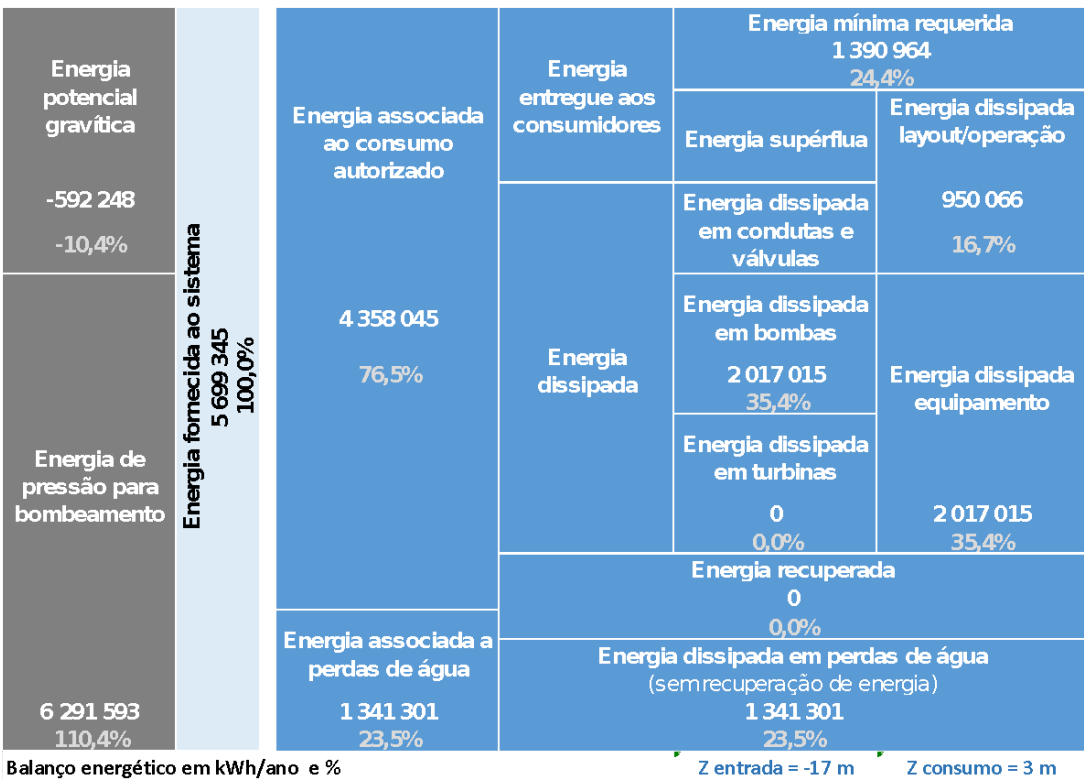


Figura 3.3 Balanço energético no sistema de captação, transporte e distribuição de água da EG J

O indicador “Energia fornecida em excesso” (dE20), por ser mais robusto do que o “Índice de energia fornecida” (dE3) (i.e., menos sensível à cota de referência do sistema) (Pisoeiro et al. 2020), é o adotado nas etapas de análise mais pormenorizadas, em detrimento do indicador dE3.

Além destes indicadores, que avaliam a eficiência energética do equipamento e do sistema, apresenta-se também na Figura 3.2 (quadrados) o resultado do julgamento de um conjunto de indicadores de eficácia desta etapa. O desempenho mediano em “Falhas no transporte e distribuição” (dE4, e.g., falhas por roturas, avarias em grupos eletrobombas ou outros elementos da rede, interrupções de energia) e em “Água não faturada” (dE5) alertam para a necessidade de se melhorar a eficácia do serviço. O resultado do indicador dE5 está relacionado com o volume observado de perdas de água, que influencia negativamente a eficiência energética do sistema, como sinalizado pelos indicadores dE3 e dE20.

Ainda em termos de eficácia, relativamente à qualidade da água nos pontos de consumo da rede, na sua maioria, avalia-se as médias dos 10% de valores mais elevados (ou mais baixos, conforme aplicável) de forma a “amplificar” e assim facilitar a deteção de eventuais desvios aos valores desejados que são afetados/afetam os consumos de energia – os indicadores **Avaler+** não correspondem, portanto, ao indicador de água segura (conformidade definida pela ERSAR), calculado pela EG com todos os valores registados. Feita esta ressalva, para a EG J, verificaram-se valores de cloro residual abaixo (dE6) da gama recomendada e valores próximos do limite superior (dE7) da gama recomendada (Figura 3.2). Os valores próximos do limite superior não comprometeram o resultado em termos de valores elevados de trihalometanos (dE8). Quanto aos parâmetros microbiológicos (dE9), os valores mais elevados dos parâmetros *E. coli*, *Clostridium perfringens*, e *Enterococos* não excederam os valores limite, enquanto que os valores mais elevados de bactérias coliformes excederam o valor limite e os valores mais elevados de colónias excederam os valores recomendados.

Esta análise integrada eficácia-eficiência realça que as medidas a tomar pela EG J para melhorar a eficiência energética através da redução de perdas de água devem permitir um controlo adequado do cloro residual na rede de distribuição, que corrija os desvios aos valores desejados detetados na qualidade microbiológica da água.

3.3.3 Etapa de tratamento de águas residuais

Na etapa de tratamento de águas residuais (que representou em 2017 26% do consumo total de energia na EG, Figura 3.2) os resultados dos indicadores de eficácia mostram 100% de conformidade no tratamento de águas residuais e os de eficiência energética mostram desempenho mediano em termos de energia consumida por volume tratado (wtE2) e bom desempenho por massa removida (wtE3). Em relação à produção de energia, o desempenho foi insatisfatório (wtE5) face ao potencial de produção (Figura 3.2).

3.3.4 Etapa de recolha e transporte de águas residuais

Na etapa de recolha e transporte de águas residuais (ou drenagem, que representou em 2017 7% do consumo total de energia na EG, Figura 3.3), o equipamento de

bombeamento apresenta um desempenho mediano, dado pelo indicador “Consumo de energia normalizado das instalações elevatórias” (wcE2; círculo amarelo, Figura 3.2). Em termos de eficácia, o desempenho mediano em “Água residual recolhida/faturada” (wcE6), em que o volume de água residual recolhida é inferior ao volume de água residual faturada, e o desempenho insatisfatório em “Ocorrência de inundações” (wcE7) indicam que existem oportunidades de melhoria, nomeadamente através de um maior controlo das inundações e de bypass, que podem estar a originar elevados volumes de descargas.

Os indicadores de desempenho “Consumo de energia na limpeza de coletores” (wcE4) e “Sedimentos removidos” (wcE9) foram propostos neste trabalho, e, portanto, ainda não existe histórico e várias EG não dispõem de dados para o seu cálculo, aspetos que dificultaram o estabelecimento de valores de referência.

De acordo com a metodologia adotada, selecionaram-se as etapas de captação, transporte e distribuição e de tratamento de águas residuais para uma análise mais aprofundada ao nível do processo ou equipamento (nível 3).

3.4 Diagnóstico por componente de infraestrutura (nível 3)

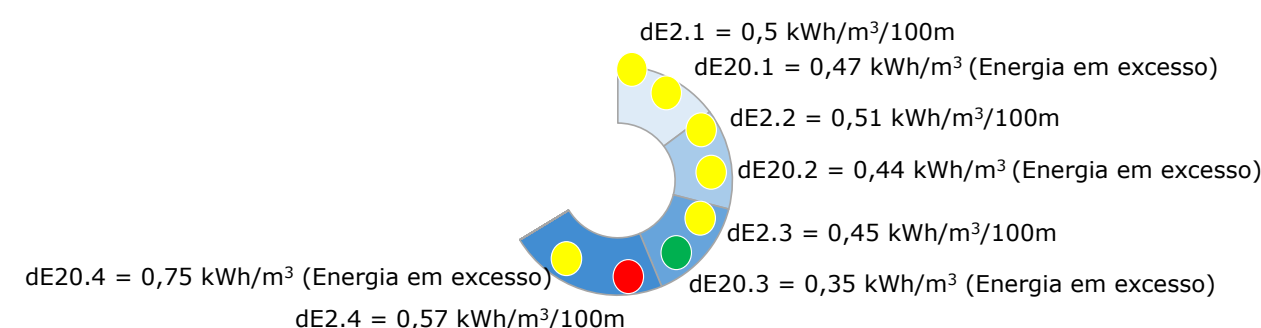
3.4.1 Subsistemas de abastecimento de água

A etapa de captação, transporte e distribuição de água tem como componentes de infraestrutura os subsistemas de abastecimento de água. Na EG J, esta etapa foi dividida em 4 subsistemas, todos abastecidos por captações subterrâneas (Figura 3.4).

O subsistema 4 é o que consumiu em 2017 mais energia (22,6% do total gasto pela EG J), tendo os restantes subsistemas um peso idêntico em termos de consumo de energia elétrica (~14,5 % do total gasto pela EG J), representando os 4 subsistemas 67% do total gasto pela EG J. Em termos de eficiência energética, todos os subsistemas apresentaram oportunidade de melhoria ao nível da eficiência dos grupos eletrobomba, pois o “Consumo de energia normalizado” (dE2) apresentou um desempenho mediano ou insatisfatório (no caso do subsistema 4). De igual modo, o indicador de “Energia fornecida em excesso” (dE20) traduz um desempenho mediano dos vários subsistemas, com exceção do subsistema 3, com bom desempenho.

Em termos de eficácia, em “Água não faturada”, o subsistema 3 apresentou bom desempenho, os subsistemas 1 e 2 desempenho mediano, e o subsistema 4 desempenho insatisfatório. Em “Falhas”, os subsistemas 2 e 4 apresentaram bom desempenho, o subsistema 1 desempenho mediano e o subsistema 3 desempenho insatisfatório.

Além de ser mais robusto do que o “Índice de energia fornecida” (dE3) (por ser menos sensível à cota de referência do sistema, Pisoeiro et al. 2020), o indicador “Energia em excesso por consumo autorizado” (dE20) tem como mais-valia poder ser decomposto em energia dissipada por perdas de água, por traçado/operação e por ineficiência de equipamento.



Falhas	Água não facturada	Cloro residual mínimo	Cloro residual máximo	THM
dE4.1 = 2,11	dE5.1 = 21,9 %	dE6.1b = 85 %	dE7.1 = 81,7 %	dE8.1 = 37,2 %
dE4.2 = 0,73	dE5.2 = 20,7 %	dE6.2b = 90 %	dE7.2 = 86,7 %	não disponível
dE4.3 = 3,70	dE5.3 = 19,2 %	dE6.3b = 90 %	dE7.3 = 76,7 %	não disponível
dE4.4 = 0,25	dE5.4 = 34,8 %	dE6.3b = 85 %	dE7.4 = 95,0 %	dE8.4 = 32,0 %

E. Coli	Bactérias Coliformes	Nº Colónias a 22°C	Nº Colónias a 37°C
dE9.1a = 0 NMP/100 mL	dE9.1c = 0 NMP/100 mL	dE9.1e = 176 %	dE9.1f = 555 %
dE9.2a = 0 NMP/100 mL	dE9.2c = 0 NMP/100 mL	dE9.2e = 69 %	dE9.2f = 700 %
dE9.3a = 0 NMP/100 mL	dE9.3c = 7 NMP/100 mL	dE9.3e = 148 %	dE9.3f = 1165 %
dE9.4a = 0 NMP/100 mL	dE9.4c = 9 NMP/100 mL	dE9.4e = 133 %	dE9.4f = 765 %

Figura 3.4 Consumo de energia, indicadores de eficiência energética e de eficácia em cada um dos 4 subsistemas de abastecimento de água da EG J

Na EG J, verifica-se que a componente mais relevante da energia em excesso é a devida a ineficiências nos equipamentos de bombeamento (Figura 3.5). No subsistema 4, o mais ineficiente energeticamente, a energia dissipada por perdas de água iguala a energia dissipada por ineficiência em grupos eletrobomba (em ambos os casos, 44% do dE20), representando a energia dissipada por traçado e operação apenas 12% da energia em excesso.

Estes resultados evidenciam que, além de atuar na melhoria da eficiência dos equipamentos, é fulcral reduzir também as perdas de água no subsistema 4. Por exemplo, a deteção de fugas e a setorização adequada do subsistema por patamares de pressão, com eventual reconfiguração dos pontos de entrada nas redes, podem ter um impacto muito significativo na eficiência energética e eficácia – por reduzir as perdas reais na rede, e consequentemente o volume de água entrada e a energia fornecida por bombeamento, e por poder diminuir tempos de percurso da água, melhorando os níveis de cloro mínimo e máximo na rede.

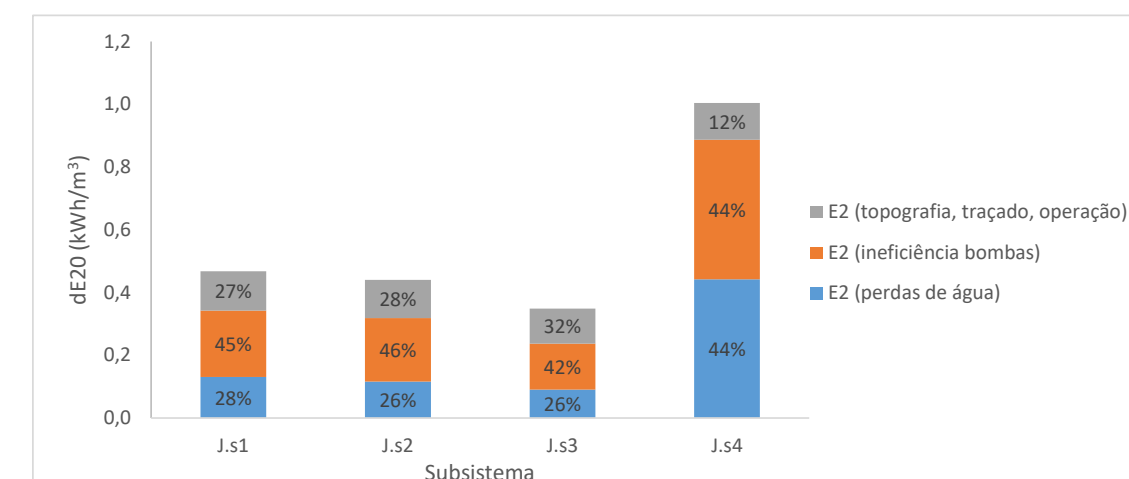


Figura 3.5 Subcomponentes do indicador "Energia em excesso por consumo autorizado" para os 4 subsistemas da EG J

Decorrente do diagnóstico realizado, o subsistema 4 foi selecionado como subsistema prioritário para uma análise mais aprofundada (nível 4, secção 3.5.1) – representa 22,6% do consumo total de energia na EG, apresenta desempenho insatisfatório no "Consumo de energia normalizado" (dE2) e, de entre os subsistemas da EGJ, o valor mais elevado de "Energia fornecida em excesso" (dE20), com desempenho mediano.

3.4.2 Estações de tratamento de águas residuais

A etapa de tratamento de águas residuais na EG J foi dividida em 4 ETAR (Figura 3.6).

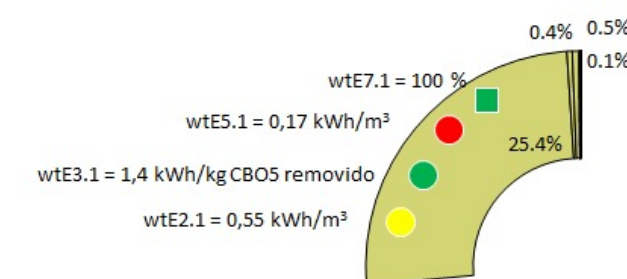


Figura 3.6 Consumo de energia nas 4 ETAR da EG J, e indicadores de eficiência energética e de eficácia na ETAR 1, em 2017

O consumo de energia em 3 das 4 ETAR corresponde a apenas 1% do consumo total da EG J em 2017. A ETAR 1 consumiu 99% da energia gasta pela EG J no tratamento de águas residuais, correspondendo a 25% do consumo total da EG. Deste modo, a Figura 3.6 apresenta os indicadores de desempenho apenas para a ETAR 1, em 2017. Os resultados mostram que a ETAR 1 foi eficaz (wtE7.1 100%) e que existe potencial de melhoria da eficiência energética, quer no consumo de energia por volume tratado (wtE2.1), quer na produção de energia (wtE5.1). A ETAR 1 foi assim selecionada como componente crítica para análise mais aprofundada (nível 4, secção 3.5.2).

3.5 Diagnóstico por processo ou equipamento (nível 4)

3.5.1 Instalações elevatórias do subsistema 4 da EG J

Na secção 3.4.1, o subsistema 4 da EG J foi selecionado como prioritário para uma análise mais aprofundada, de nível 4. Este subsistema possui 18 instalações elevatórias (Figura 3.7), 6 das quais são captações de água (subterrânea). No restante conjunto, apenas CS-1 e CS-2 são sobrepessoras (sem velocidade variável), sendo as restantes instalações elevatórias para elevação de água entre reservatórios.

Como não foi possível dispor de informação para estimar o rendimento esperado (necessário ao cálculo do indicador de “Taxa de degradação”) e o “Rácio entre o caudal bombeado e o caudal nominal”, esta análise assentou na avaliação de dois dos indicadores de desempenho apresentados no Quadro 2.6 (secção 2.3) – “Rendimento calculado”, η calc, e “Vida residual” dos grupos eletrobomba associados ao subsistema selecionado (Quadro 3.4).

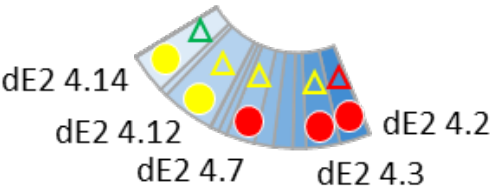


Figura 3.7 Avaliação do consumo de energia normalizado (dE2) e da vida residual (Δ) das principais instalações elevatórias do subsistema 4.

No conjunto das seis captações associadas ao subsistema 4, que representaram aproximadamente 10 % do consumo total de energia na EG J, em termos de rendimento apenas o grupo CBR6 apresentou um desempenho mediano, sendo insatisfatório o desempenho dos restantes grupos eletrobomba (JK12, PS1, JK14, JK15 e CBR5). Em termos de vida residual, embora a maior parte tenha apresentado um desempenho mediano, apenas dois grupos eram recentes (vida residual de 0,88). Além disso, embora quatro destes grupos possuam variador de velocidade, os seus rendimentos foram muito baixos, o que pode ser também indicativo de um modo de operação ou dimensionamento inadequados. Deste modo, para o conjunto de captações, propõe-se que sejam analisadas medidas para os grupos PS1 e JK14, cujos valores de eficiência foram muito baixos e representaram 5,4% do consumo de energia na EG J, em 2017.

Quadro 3.4 Avaliação do desempenho de instalações elevatórias para abastecimento de água no subsistema 4 da EG J

Instalação elevatória		Consumo de energia na EG (%)	n.º de grupos	Potência elétrica (kW)	dE20 (kWh/m³/100m)	η calc (%)	Vida residual (-)
4.1	JK12*	0,10	1	35	4,27 •	6,4 •	0,24 •
4.2	PS1	2,56	1	45	0,90 •	30,2 •	0,08 •
4.3	JK14	2,88	1	46	1,15 •	23,7 •	0,28 •
4.4	JK15*	1,14	1	45	0,66 •	41,3 •	0,32 •
4.5	CBR5*	1,65	1	52	0,59 •	46,4 •	0,88 •
4.5	CBR6*	1,62	1	67	0,46 •	59,8 •	0,88 •
4.7	PIN-1	2,44	1	37	0,59 •	46,0 •	0,68 •
4.8	PIN-2	0,01	1	45	0,33 •	83,7 •	0,88 •
4.9	PIN-3	0,71	1	30	0,42 •	64,1 •	0,24 •
4.10	PIN-4	0,72	1	30	0,45 •	60,3 •	0,24 •
4.11	BSS-1	0,06	1	55	0,45 •	61,1 •	0,68 •
4.12	BSS-2	4,55	1	90	0,42 •	65,0 •	0,80 •
4.13	BSS-3	0,68	1	45	0,65 •	42,0 •	0,24 •
4.14	BSS-4	3,40	1	75	0,50 •	54,3 •	0,60 •
4.15	POR-1	0,02	1	2,2	0,84 •	32,4 •	0,48 •
4.16	POR-2	0,03	1	2,2	1,08 •	25,3 •	0,48 •
4.17	CS-1	0,01	1	3	0,38 •	71,4 •	0,24 •
4.18	CS-2	0,01	1	3	0,41 •	66,9 •	0,24 •

Nos restantes grupos, a grande parte apresentou um desempenho mediano em termos de rendimento, com exceção dos grupos PIN-1, BSS-3, POR-1 e POR-2 que apresentaram um desempenho insatisfatório. No caso de BSS-1, que era um grupo recente (vida residual de 0,68) e com consumo superior aos restantes, deve ser analisada a melhoria do rendimento por ajuste do período de operação ou dos níveis de operação dos reservatórios ou através da instalação de variadores de velocidade.

Deste modo, propõem-se como prioritários para análise de medidas ao nível do equipamento os grupos PS1, JK14 (captação → reservatório) e PIN-1 (reservatório → reservatório), que representaram 7,9 % do consumo total de energia na EG J, em 2017.

3.5.2 ETAR 1 da EG J

Para a ETAR 1, que foi considerada crítica (secção 3.4.2) e seleccionada para análise mais aprofundada de nível 4, foram realizadas campanhas de medição de consumo de energia em cada processo da estação. A ETAR possui tratamento secundário biológico por lamas ativadas, do tipo A2O (aneróbio-anóxico-aeróbio).

Os resultados da campanha, apresentados na Figura 3.8, mostram que o arejamento foi responsável pelo maior consumo de energia na ETAR 1, representando 14 % do consumo de energia da EG J.

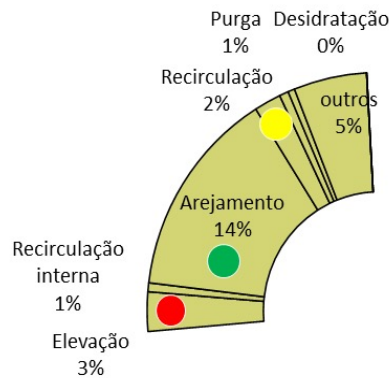


Figura 3.8 Consumo de energia em cada processo da ETAR 1 na EG J

A avaliação do desempenho energético de cada processo da ETAR, neste nível de análise 4, utiliza os índices de desempenho apresentados na secção 2.3 (Silva et al. 2016, Loureiro et al. 2020b, Silva e Rosa 2021). No arejamento, a eficiência energética depende, além da eficiência do equipamento (neste caso com difusores e compressores), do balanço entre o oxigénio fornecido e o oxigénio necessário, que variam em função da carga orgânica afluente, do modo de operação do sistema A2O, da temperatura, entre outros. Os valores de referência dos índices, e consequentemente o desempenho energético do arejamento, dependem, portanto, destes fatores.

Os resultados obtidos na campanha realizada na ETAR 1 (0,4 kWh/m³) correspondem a um desempenho mediano (wtE2.1 amarelo, Figura 3.8), no entanto este baixo consumo de energia no arejamento pode ser insuficiente para satisfazer as necessidades da água residual a tratar.. Medidas a estudar incluem um melhor ajuste do arejamento à variação da qualidade da água a tratar. A elevação de água inicial e a recirculação de água e lamas necessária ao tratamento nesta ETAR foi responsável por 3% e 2% do consumo de energia da EG A, respetivamente. O valor de referência para o consumo de energia na elevação e na recirculação está associado à eficiência das bombas e na recirculação ainda à razão de recirculação típica. Analisando o consumo de energia no bombeamento, verificou-se um desempenho insatisfatório na elevação com 30% de eficiência das bombas e um desempenho mediano na recirculação com uma eficiência das bombas de recirculação de 53%.

3.6 Síntese do diagnóstico

A Figura 3.9 e a Figura 3.10 sintetizam o diagnóstico para as duas etapas identificadas como críticas na EG J: captação, transporte e distribuição e tratamento de águas residuais.

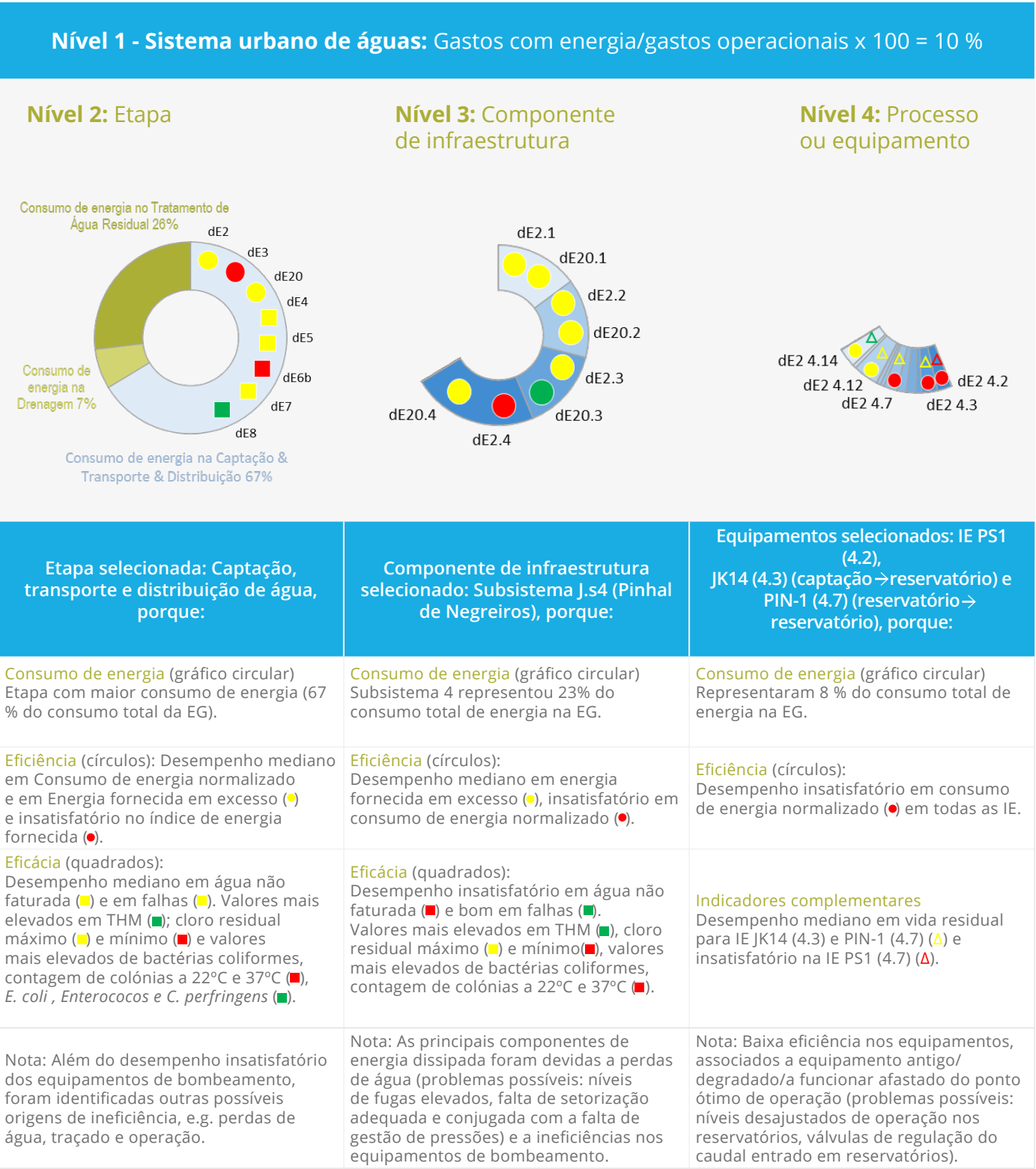


Figura 3.9 Síntese do diagnóstico (níveis 1 a 4) para a etapa de captação, transporte e distribuição na EG J

Nível 1 - Sistema urbano de águas: Gastos com energia/gastos operacionais x 100 = 10 %

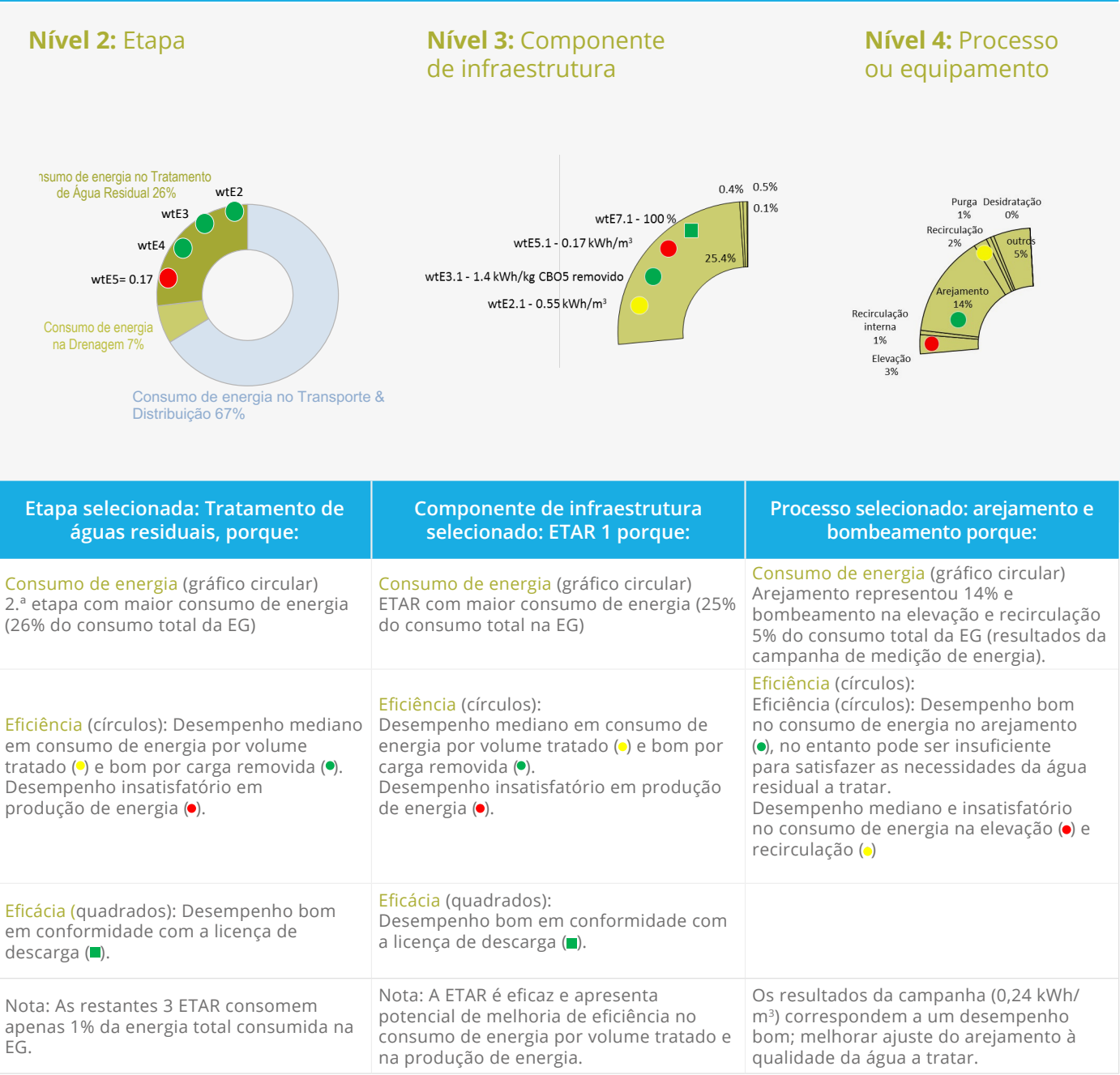


Figura 3.10 Síntese do diagnóstico (níveis 1 a 4) para a etapa de tratamento de águas residuais na EG J

PARTE II

PRIORIZAÇÃO DE ALTERNATIVAS

METODOLOGIA PARA SELEÇÃO E PRIORIZAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE MELHORIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

4.1 infraestruturais e não-infraestruturais

Neste projeto classificaram-se as medidas ou ações de melhoria de eficiência energética nos serviços urbanos de água em:

Medidas infraestruturais, que incluem:

- Intervenções de construção ou reabilitação (e.g., redimensionamento ou reabilitação de troços de rede), de construção civil, equipamento (eletromecânico, informático, instrumentação e controlo, etc.) e instalações elétricas. A reabilitação corresponde a uma alteração e melhoria do ativo construído ou das suas partes de modo a atingir uma condição aceitável, e pode incluir ações de renovação, substituição, reforço ou, em alguns casos, reparação de ativos ou dos seus componentes (ISO 15686-1:2011).

Medidas não-infraestruturais (que, do ponto de vista económico, não envolvem depreciação de investimento) que incluem:

- Medidas de manutenção (e.g., pequenas reparações, substituição de óleo do motor dos grupos eletrobomba, limpezas de órgãos). A manutenção corresponde à combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida útil do ativo construído ou dos seus elementos constituintes, destinadas a mantê-los num estado em que desempenhem as funções requeridas (ISO 15686-1:2011).
- Medidas de operação (e.g., alterar a operação da bomba para funcionar numa gama de caudais próxima do ponto ótimo).
- Outras medidas não-infraestruturais, por exemplo, de melhoria dos sistemas de monitorização (e.g., medição do consumo de energia ou de variáveis que o determinam/afetam: caudal, pressão, oxigénio dissolvido/potencial redox/nitrato) e de informação (como os sistemas de telegestão e de cadastro) ou de reforço de recursos humanos, que podem ser transversais às várias etapas do ciclo urbano da água.

Nos quadros seguintes exemplificam-se medidas infraestruturais e não-infraestruturais por etapa do ciclo urbano da água (Quadro 4.1) e por nível de análise (Quadro 4.2).

Quadro 4.1 Exemplos de medidas infraestruturais e não-infraestruturais para melhoria da eficiência energética por etapa do ciclo urbano da água

Medidas / Etapas do ciclo urbano	Captação e transporte	Transporte e distribuição	Recolha e transporte AR	Reutilização ApR	Tratamento Ap	Tratamento AR e descarga
Medidas infraestruturais						
Setorização da rede (em zonas com requisitos de pressão idênticos)		★		★		
Reabilitação ou substituição de grupos eletrobomba ou seus componentes	★	★	★	★	★	★
Reabilitação ou substituição de reservatórios	★	★				
Reabilitação ou substituição de elementos lineares (condutas ou coletores)	★	★	★	★		
Alteração de origens de abastecimento (redução da energia fornecida)		★		★		
Abastecimento direto a certas zonas de rede sem necessidade de recurso a reservatórios centrais localizados em cotas elevadas	★	★				
Recuperação de energia em válvulas redutoras de pressão	★	★				
By-pass a elementos da rede que causam perdas de carga localizadas e que a jusante requerem nova elevação de água para assegurar o serviço (e.g., reservatórios intermédios)	★	★				
Substituição de difusores de tubos estáticos por difusores flexíveis de membrana de bolha fina						★
Reabilitação ou substituição de arejadores					★	★
Reabilitação ou substituição de compressores					★	★
Instalação ou substituição integral de sistemas de monitorização (sondas e acessórios) para ajuste dinâmico do arejamento e/ou doseamento de reagentes					★	★
Substituição do sistema de desinfecção					★	★
Instalação ou substituição integral do sistema de telegestão	★	★	★	★	★	★
Medidas não-infraestruturais						
Operação de grupos eletrobomba no ponto de máxima eficiência	★	★	★	★	★	★
Instalação de variadores de velocidade para eliminação de energia supérflua	★	★	★	★	★	★
Deteção de fugas e/ou controlo de pressão	★	★		★		
Minimização de perdas de carga contínuas ou localizadas (ações operacionais para garantir uma distribuição de caudais mais uniforme na rede)	★	★	★	★	★	★
Melhoria do sistema de monitorização e registo (e.g., energia, caudal, pressão)	★	★	★	★	★	★
Redução do número de linhas em funcionamento na ETA/ ETAR					★	★
Aumento do diâmetro ou do número de difusores para melhoria da eficiência de transferência de oxigénio						★
Ajuste do modo de funcionamento dos arejadores/agitadores mecânicos (submersão, velocidade de rotação, tempo de funcionamento)					★	★
Aumento da idade das lamas na ETAR						★
Garantia de mistura completa no(s) reator(es)					★	★
Ajuste dos setpoints de oxigénio dissolvido						★
Limpeza dos difusores (e.g., injeção de ácido fórmico na tubagem de ar)						★
Ajuste das condições de operação da desinfecção (e.g., dose de radiação UV) à qualidade da água					★	★

Legenda: ★água para consumo público; ★água residual e pluvial; ★água para reutilização

Quadro 4.2 Exemplos de medidas infraestruturais e não-infraestruturais de melhoria da eficiência energética por nível de análise

Medidas / nível de análise	Sistema	Etapas	Componente ou subsistema	Processo ou equipamento
Medidas infraestruturais				
Setorização da rede (em zonas com requisitos de pressão idênticos)		★	★	
Reabilitação ou substituição de grupos eletrobomba ou seus componentes				★
Reabilitação ou substituição de reservatórios			★	
Reabilitação ou substituição de elementos lineares (condutas ou coletores)			★	
Alteração de origens de abastecimento (redução da energia fornecida)			★	
Abastecimento direto a certas zonas de rede sem necessidade de recurso a reservatórios centrais localizados em cotas elevadas			★	
Recuperação de energia em válvulas redutoras de pressão				★
By-pass a elementos da rede que causam perdas de carga localizadas e que a jusante requerem nova elevação de água para assegurar o serviço (e.g., reservatórios intermédios)			★	
Substituição de difusores de tubos estáticos por difusores flexíveis de membrana de bolha fina				★
Reabilitação ou substituição de arejadores				★
Reabilitação ou substituição de compressores				★
Instalação ou substituição de sistemas de monitorização (sondas e acessórios) para ajuste dinâmico do arejamento e/ou doseamento de reagentes				★
Substituição do sistema de desinfecção				★
Instalação ou substituição integral do sistema de telegestão	★		★	
Medidas não-infraestruturais				
Operação de grupos eletrobomba no ponto de máxima eficiência				★
Instalação de variadores de velocidade para eliminação de energia supérflua				★
Deteção de fugas e/ou controlo de pressão (instalação de válvulas redutoras de pressão)			★	
Minimização de perdas de carga contínuas ou localizadas (ações operacionais para garantir uma distribuição de caudais mais uniforme na rede)			★	
Melhoria do sistema de monitorização e registo (e.g., energia, caudal, pressão)			★	
Redução do número de linhas em funcionamento na ETA/ ETAR			★	
Aumento do diâmetro ou do número de difusores para melhoria da eficiência de transferência de oxigénio				★
Ajuste do modo de funcionamento dos arejadores/agitadores mecânicos (submersão, velocidade de rotação, tempo de funcionamento)				★
Aumento da idade das lamas na ETAR			★	
Garantia de mistura completa no(s) reator(es)			★	
Ajuste dos setpoints de oxigénio dissolvido				★
Limpeza dos difusores (e.g., injeção de ácido fórmico na tubagem de ar)				★
Ajuste das condições de operação da desinfecção (e.g., dose de radiação UV) à qualidade da água				★

As medidas apresentadas no Quadro 4.1 e Quadro 4.2 foram identificadas em iniciativas anteriores/em curso, específicas de etapas-chave, designadamente:

- iPerdas 2014 e 2016 – Iniciativa de gestão de perdas de água e energia, para a etapa de transporte e distribuição de água para consumo público (Mamade et al. 2018, Poças et al. 2017);
- iEQTA 2017 – Iniciativa em Energia, Qualidade e Tratamento de Água, para a etapa de tratamento de águas residuais (Silva & Rosa 2019).

4.2 Metodologia para priorização de alternativas

Um plano de ação requer a seleção de medidas de melhoria, que exige a comparação e priorização de alternativas.

A metodologia desenvolvida no **Avaler+** de comparação e priorização de alternativas integra as seguintes etapas principais:

- i) especificação e análise comparativa de alternativas em termos de desempenho;
 - ii) análise económica de alternativas atendendo a custos no ciclo de vida;
 - iii) priorização de alternativas.
- **Análise comparativa de alternativas em termos de desempenho**

Estabeleceu-se, com base em Alegre e Covas (2010), a seguinte metodologia para estudo de alternativas em cada nível de análise:

- i. Estudo e especificação de ações ou medidas de melhoria da eficiência energética para os problemas identificados no diagnóstico (Loureiro et al. 2020c, 2020d). As alternativas podem corresponder exclusivamente a obras de reabilitação, de operação e manutenção ou a uma combinação de obra e de alterações ao modo de operação e manutenção.
- Nalguns casos, por não envolverem investimento ou pela sua elevada pertinência, as ações ou medidas dispensam uma análise comparativa, como se exemplifica no Quadro 4.3 para problemas e medidas recomendadas ao nível do equipamento de bombeamento.
- ii. Seleção de indicadores de desempenho para análise comparativa de alternativas.
- Como ponto de partida, adotou-se, para cada um dos níveis de análise, o conjunto de indicadores proposto no sistema de avaliação, excluindo métricas que não permitam diferenciar alternativas.
- iii. Especificação dos passos de tempo para análise.
- Estes devem incluir o horizonte do plano, i.e., o horizonte temporal de intervenção do plano, e o horizonte de análise, i.e., um horizonte temporal mais alargado, que é particularmente importante para análise do impacto de medidas infraestruturais.

Quadro 4.3 Exemplos de problemas e medidas recomendadas ao nível do equipamento de bombeamento

Problema identificado	Medida recomendada
• Bombas com baixa taxa de degradação do desempenho ($< 1\%/ano$), com <u>rendimento mediano ou insatisfatório</u>, com relação entre o caudal bombeado (Q) e o nominal (Q_n) compreendida entre $[70, 90[$ e $]105, 120]$ (em bombas com rácios inferiores, a taxa de degradação pode ser superior e ser necessária a sua substituição com redimensionamento, em bombas com rácios superiores deve ser revista a consistência dos dados)	• Operação de grupos eletrobomba no ponto de máxima eficiência
• Bombas novas ou a meio da sua vida útil, sem variador de velocidade, com baixa taxa de degradação ($< 1\%/ano$), <u>rendimento e relação Q/Q_n insatisfatórios</u>, mas $Q/Q_n > 0,5$ (em bombas com rácios inferiores pode ser necessária a sua substituição)	• Instalação de variadores de velocidade para eliminação de energia supérflua
• Bombas com <u>falta de informação</u> para a sua avaliação ou com <u>resultados inconsistentes</u> nos indicadores utilizados no diagnóstico	• Melhoria do sistema de monitorização e registo de dados (energia, caudal, pressão)
• Bombas envelhecidas ou em fim de vida útil, com ou sem variador de velocidade, com <u>rendimento insatisfatório</u> • Bombas novas ou a meio da sua vida útil, com variador de velocidade, <u>elevada taxa de degradação</u> ($\geq 1\%/ano$), <u>rendimento e relação $Q/Q_n < 0,5$</u> • Bombas novas, com relação Q/Q_n adequada e <u>rendimento insatisfatório</u>	• Reabilitação ou substituição de grupos eletrobomba ou seus componentes (e.g., motor, arrancadores suaves, impulsor)

- iv. Cálculo das métricas selecionadas em cada passo de tempo.
 - v. Julgamento das métricas de acordo com os valores de referência estabelecidos e sua normalização para análise conjunta.
 - vi. Análise comparativa de alternativas versus a situação *statu quo* (i.e., não serem realizadas intervenções de reabilitação e manterem-se as práticas de manutenção da infraestrutura).
- O *software* AWARE-P, desenvolvido por um consórcio liderado pelo LNEC (Coelho et al. 2013) respeitando a abordagem proposta por Alegre e Covas (2010) para planeamento de infraestruturas urbanas de águas, permite a comparação e priorização de alternativas relativamente à alternativa *statu quo*, como se ilustra na Figura 4.1 e Figura 4.2. No âmbito do **Avaler+**, este software será usado para esse efeito pelo LNEC e pelas EG participantes que tenham licença de utilização.

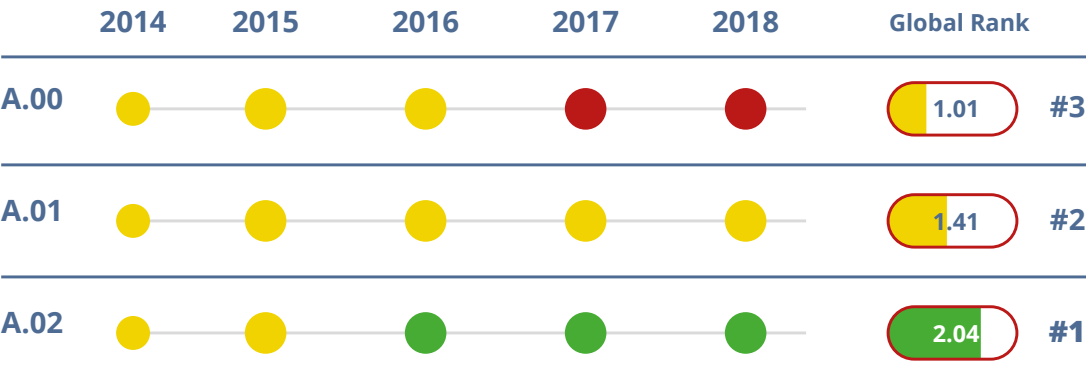


Figura 4.1 Exemplo de resultado da comparação e priorização de alternativas num subsistema de distribuição de água com problemas de ineficiência energética e de perdas de água utilizando o software AWARE-P. A.00 é a alternativa *statu-quo*, A.01 a alternativa de instalação de uma válvula redutora de pressão à entrada do subsistema e A.02 a alternativa de abastecimento a partir de outro setor de rede

• **Análise económica de alternativas**

A análise económica de alternativas é realizada tendo em conta os principais custos durante o ciclo de vida dos ativos que integram as infraestruturas urbanas de águas, i.e., construção, operação e manutenção, e reabilitação.

Relativamente aos custos de construção, utilizam-se os valores de referência propostos por Covas et al. (2018). Os custos de reabilitação e de manutenção e os custos de substituição de arejadores, compressores e sistemas UV têm por base o trabalho desenvolvido no projeto **Avaler+** (Cabral et al. 2020).

Para a análise económica de alternativas (i.e., análise comparativa da rentabilidade entre os vários investimentos), considera-se que o período de análise é o período de vida útil do investimento. Por exemplo, no caso da substituição de um grupo eletrobomba em abastecimento de água considera-se que a vida útil deste ativo é de 20 anos (Alegre e Covas 2010).

Os principais aspetos para a análise económica de alternativas encontram-se sintetizados no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 Aspetos considerados na análise económica de alternativas

Aspetos da análise económica	Descrição
Período de análise	Período de vida útil do investimento (<i>n</i>)
Sistema de preços	Preços constantes referenciados ao ano 0 da análise (os cash-flows (CF) são atualizados no tempo considerando a taxa de atualização (<i>r</i>))
Valor dado ao fator capital	Valor do investimento inicial e valor residual (amortizações lineares)
Tratamento dado ao fator tempo	Valores atualizados ao ano inicial
Rubrica de gastos e de proveitos	- Consideram-se apenas as rubricas que sofrem alteração face à situação de <i>statu quo</i> - Na rubrica proveitos considera-se que não há alteração de proveitos quando as alternativas não envolvam alterações como o número de consumidores ou o valor pago pela água
Indicadores de análise	- Valor atual líquido (VAL), <i>Net present Value</i> (NPV) - Taxa interna de rentabilidade (TIR), <i>Internal rate of return</i> (IRR) - Período de retorno do investimento (PRI), <i>Payback period</i> (PBP)
Critérios de avaliação	<u>Valor atual líquido (VAL)</u> - VAL < 0, os CF gerados são insuficientes para pagar o investimento feito e o retorno exigido - VAL = 0, os CF gerados correspondem exatamente ao investimento feito mais o retorno exigido - VAL > 0, os CF gerados são superiores ao exigido <u>Taxa interna de rentabilidade (TIR)</u> - TIR < <i>r</i>, os CF gerados são insuficientes para pagar o investimento feito e o retorno exigido. - TIR = <i>r</i>, os CF gerados correspondem exatamente ao investimento feito mais o retorno exigido - TIR > <i>r</i>, os CF gerados são superiores ao exigido <u>Período de retorno do investimento (PRI)</u> - PRI ≤ <i>n</i>, alternativa rentável - PRI > <i>n</i> alternativa não rentável

O Valor Atual Líquido (VAL), valor líquido atualizado de um investimento, corresponde à diferença entre os valores dos fluxos positivos e dos fluxos negativos que o caracterizam, depois de atualizados a uma taxa convenientemente escolhida. Considera-se que o VAL de cada alternativa corresponde ao montante residual dos fluxos positivos gerados durante o período de vida útil do investimento depois de deduzidos os custos de investimento envolvidos inicialmente, os custos de operação e manutenção e os custos de amortização, conforme se expressa na equação:

$$VAL = -CF_0 + \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+r)^i}$$

onde CF₀ é o cash-flow no ano inicial, CF_i é o cash-flow no ano *i*, *r* é a taxa de atualização e *n* é o período de vida útil do investimento.

A Taxa Interna de Rentabilidade (TIR), taxa de atualização para a qual se anula o respetivo valor líquido atualizado (VAL = 0), consiste no rendimento anual produzido durante o período de vida útil do investimento depois de recuperados os respetivos custos (de investimento e de exploração) por unidade de capital nele aplicado, e obtém-se igualando a expressão anterior a zero, i.e.:

$$-CF_0 + \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+TIR)^i} = 0$$

O Período de Retorno do Investimento (PRI), *Payback period* (PBP), é dado pelo número de anos do período de vida útil necessários para que os fluxos positivos igualem o montante total investido.

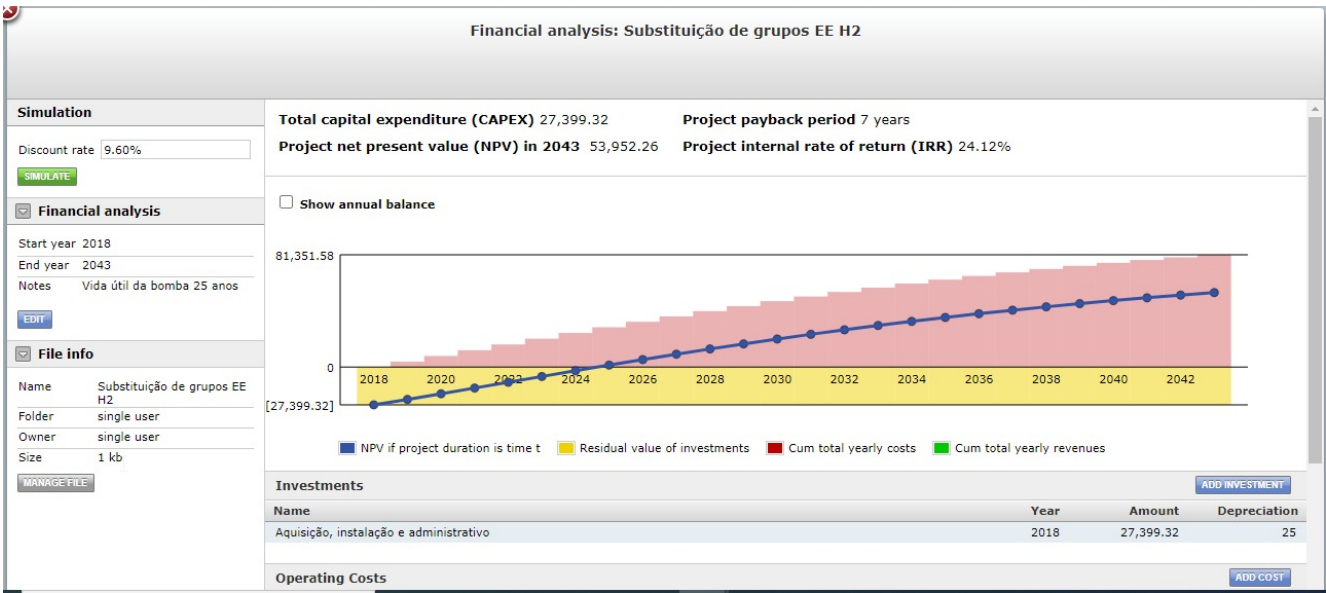


Figura 4.2 Exemplo de resultado da análise económica de substituição de um conjunto de grupos eletrobomba utilizando o software AWARE-P

• Priorização de alternativas

Uma vez realizada a análise económica, a priorização deve atender aos resultados da análise comparativa de alternativas em termos económicos e de desempenho, pois podem existir alternativas que, não sendo viáveis de acordo com os critérios de análise económica, apresentam benefícios significativos ao nível da eficiência e da eficácia. Por outro lado, podem existir alternativas viáveis economicamente, mas que exigem sucessivos investimentos e com benefícios mais limitados em termos de eficiência e eficácia ao longo do tempo.

A priorização deve atender, portanto, à análise custo (económico) vs. benefício (em desempenho) e aos recursos disponíveis na EG (financeiros, humanos e tecnológicos).

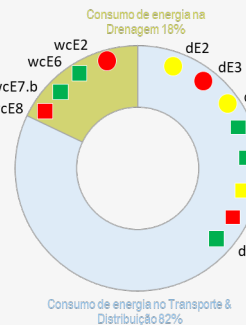
APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PARA PRIORIZAÇÃO DE ALTERNATIVAS NA EG D

5.1 Síntese do diagnóstico na EG D

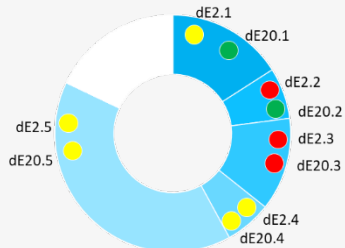
Apresenta-se na Figura 5.1 uma síntese do diagnóstico para a EG D.

Nível 1-Sistema urbano de águas: Gastos com energia/gastos operacionais x 100 = 2 %. No entanto, a energia que a EG adquire indiretamente, através da compra de água para abastecimento e entrega de águas residuais para tratamento, representa 74% dos gastos operacionais.

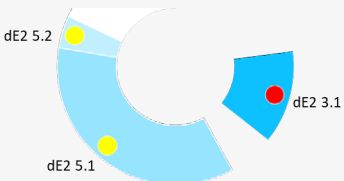
Nível 2: Etapa



Nível 3: Componente de infraestrutura



Nível 4: Processo ou equipamento



Etapa selecionada: Transporte e distribuição de água, porque:	Componente de infraestrutura selecionado: Subsistema de transporte e distribuição de água 3 (R6-H2) e 5 (R6-EEA3-H1), porque:	Equipamento selecionado: IE 3.1 (reservatório → rede), IE 5.1 (reservatório → reservatório), porque:
Consumo de energia Etapa com maior consumo de energia (82% do consumo total da EG)	Consumo de energia: D.s5 com maior consumo de energia (40%) e o D.s3 apresenta um consumo relevante (13%)	Consumo de energia: Representaram 48 % do consumo total da EG.
Eficiência (círculos): Desempenho mediano em consumo de energia normalizado e em energia em excesso por volume de consumo autorizado (●) e insatisfatório no Índice de energia fornecida (●).	Eficiência (círculos): Desempenho insatisfatório em consumo de energia normalizado e em energia em excesso por volume de consumo autorizado (●) no D.s3 e mediano no D.s5 (●).	Eficiência (círculos): Desempenho mediano no rendimento das instalações elevatórias (IE) 5.1 e 5.2 (●) e insatisfatório na IE 3.1 (●).
Eficácia (quadrados):desempenho bom em água não faturada e em falhas (■). Valores mais elevados de THM (■), cloro residual mínimo (■) e máximo (■) e valores mais elevados de parâmetros microbiológicos, colónias a 37°C (■).	Eficácia (quadrados): desempenho bom em água não faturada e falhas (■) em ambos os subsistemas.	Indicadores complementares: Desempenho insatisfatório na vida residual (Δ) e mediano em Q/Qn (Δ)
Notas: Além da ineficiência nos equipamentos de bombeamento, foram identificadas outras possíveis origens de ineficiência como o traçado e operação. Aconselha-se o estudo do traçado.	Notas: A principal componente de energia dissipada é devida a equipamento e traçado. Equipamento com eficiências baixas, excesso de pressão e perdas de carga localizadas poderão explicar estes resultados.	Notas: Problemas de eficiência devido à existência de equipamento em fim de vida e a funcionar fora do ponto ótimo.

Figura 5.1 Síntese do diagnóstico para a EG D

5.2 Especificação de alternativas

O subsistema prioritário de transporte e distribuição de água D.s3, que representa 13% do consumo na entidade gestora, apresentou um desempenho insatisfatório em termos de consumo de energia normalizado para bombeamento, que é elevado e indicativo de uma baixa eficiência dos equipamentos. Estes equipamentos encontram-se também no final da vida útil esperada. Em termos de energia em excesso por volume de consumo autorizado, o desempenho foi também insatisfatório, sendo a maior proporção devida a ineficiência em equipamentos eletrobomba (72%), seguido da energia associada a perdas de água (17%) e da energia dissipada por layout e operação (11%).

Para este componente de infraestrutura prioritário de análise (subsistema D.s3) especificaram-se as seguintes alternativas:

- A0 – Situação de *statu quo* (sem intervenções de reabilitação e mantendo as práticas atuais de operação e manutenção);
- A1 – Substituição por grupos novos (3+1), com variador de velocidade e com características nominais iguais aos existentes e igual modo de operação;
- A2 – Substituição por grupos novos adequadamente dimensionados (3+1), com variador de velocidade, e adequadamente operados (redução média anual da altura de elevação em 13 m c.a., 9 m c.a. no verão, 16 m c.a. no inverno);
- A3 – Substituição de condutas com perda de carga elevada do subsistema D.s3, localizadas a jusante de grupos eletrobomba (comprimento de 881 m, PVC DN 125);
- A4 (A1+A3) – Substituição de condutas com perda de carga elevada do subsistema D.s3, a jusante de grupos eletrobomba (comprimento de 881 m, PVC DN 125) e substituição por grupos novos com características nominais iguais aos existentes e igual modo de operação;
- A5 (A2+A3) – Substituição de condutas com perda de carga elevada do subsistema D.s3 a jusante de grupos eletrobomba (comprimento de 881 m, PVC DN 125) e substituição por grupos adequadamente dimensionados e operados (redução média anual da altura de elevação em 16 m c.a.) durante todo o ano.

5.3 Recolha de dados para caracterização do subsistema, ativos, alternativas e pressupostos

Para o estudo de alternativas levantaram-se dados relativos ao preço de água e da eletricidade (componente variável), volumes de água, características da rede de condutas e da instalação elevatória existente no subsistema D.s3 (Quadro 5.1). Os dados necessários para o estudo das cinco alternativas encontram-se listados no Quadro 5.2.

Quadro 5.1 Dados necessários para caracterização do subsistema D.s3, rede de condutas e instalação elevatória

Dado	Valor
Água entrada (m³)	149 965
Consumo autorizado (m³)	127 470
Volume bombeado (m3)	149 965
Preço da água (€/m³)	0,65
Preço da eletricidade (€/kWh)	0,17
Perdas de água totais (m³)	22 495
Perdas de água totais (%)	15%
Rede de condutas	
Comprimento total (m)	3 363,5
Material	PVC
Diâmetro nominal médio (mm)	80
Ano de construção	1986
Vida residual (anos)	8
Instalação elevatória	
Designação	Hidropressora 2 (H2)
Número de grupos	4
Caudal nominal (l/s)	4,4
Altura de elevação nominal (m c.a.)	58,4
Altura de elevação mínima medida (m c.a.)	32
Ano de instalação	1998
Potência hidráulica do escoamento (kW)	7,6
Vida residual (anos)	0

Quadro 5.2 Dados necessários ao estudo de alternativas para o subsistema D.s3

Dado	Valor
Alternativa 1 – Substituição de grupos eletrobomba para idênticas características nominais e de operação	
Número de grupos a substituir	4
Caudal nominal (l/s)	4,4
Altura de elevação nominal (m c.a.)	58,4
Caudal de operação (l/s)	4,28
Altura de elevação de operação (m c.a.)	32
Eficiência dos grupos (%)	50,2
Alternativa 2 – Substituição de grupos eletrobomba por novos equipamentos adequadamente dimensionados	
Número de grupos a substituir	4
Caudal nominal (l/s)	4,8
Altura de elevação nominal (m c.a.)	19
Eficiência dos grupos (%)	58,3
Alternativa 3 – Substituição de rede	
Comprimento de rede a substituir (m)	895,3
Material de substituição	PVC
Diâmetro médio de substituição (mm)	125
Alternativa 4 – Alternativa 1+Alternativa 3	
Ver dados recolhidos para as alternativas 1 e 3	
Alternativa 5 – Alternativa 2+Alternativa 3	
Altura de elevação operação - A2+A3 (m c.a.)	22
Eficiência dos grupos - A2+A3 (%)	57,8

Para o cálculo do valor atual líquido consideraram-se três valores possíveis para a taxa de atualização. No que se refere à vida útil dos ativos, adotaram-se os valores recomendados por Alegre e Covas (2010). Os custos de construção tiveram por base trabalho prévio ao **Avaler+** (Covas et al. 2018). Os custos de substituição de condutas e grupos eletrobomba foram obtidos no âmbito do **Avaler+** (Cabral et al. 2020). Os custos de manutenção, a degradação das perdas reais e da eficiência dos grupos eletrobomba foram obtidos por consenso com as EG participantes no **Avaler+**.

Quadro 5.3 Síntese dos pressupostos adotados para estudo de alternativas no subsistema D.s3

Pressupostos		Valor
Valor Atual Líquido	Taxas de atualização	5 %
		7%
		10%
Vidas úteis	Vida útil de condutas em fibrocimento	40 anos
	Vida útil de condutas em PVC	40 anos
	Vida útil de grupos eletrobomba	20 anos
Custos unitários	Custo de construção de condutas de distribuição em PVC (€/m)	0,00024 DN²+0,1068 DN+15
	Custo de construção de instalação elevatória (k€/kWh) (P _e – Potência do escoamento do conjunto de grupos eletrobomba principais)	16,238 P _e ^{-0,522} (adaptado do Covas et al., 2018 sem considerar o custo de construção civil e das instalações elétricas)
	Custo de substituição de condutas de distribuição em PVC com abertura de vala (€/m)	0,283 DN+8 (Cabral, 2021)
	Custo de substituição de grupo eletrobomba (€/grupo)	121,21 P _e + 3116,6 (Cabral, 2021)
Custos de manutenção	Custo de manutenção anual de condutas de distribuição dentro do período de vida útil (percentagem de custo de construção de acordo com Covas et al., 2018)	0,5 %/ano
	Custo de manutenção anual de condutas de distribuição fora do período de vida útil (percentagem de custo de construção de acordo com Covas et al., 2018)	1,0 %/ano
	Custo de manutenção anual de grupos eletrobomba dentro do período de vida útil (percentagem de custo de construção de acordo com Covas et al., 2018)	2 %/ano
	Custo de manutenção anual de grupos eletrobomba fora do período de vida útil (percentagem de custo de construção de acordo com Covas et al., 2018)	3 %/ano
Perdas de água	Perdas reais em condutas novas durante os primeiros 5 anos	0,25 %/ano
	Perdas reais em condutas dentro do período de vida útil	0,5 %/ano
	Perdas reais em condutas fora do período de vida útil	1,0 %/ano
Degradação da eficiência	Degradação de desempenho de grupos eletrobomba dentro do período de vida útil	0,5 %/ano
	Degradação de desempenho de grupos eletrobomba fora do período de vida útil	1,0 %/ano
	Limite mínimo de eficiência de grupos eletrobomba	10 %
Emissões de gases	Emissões de CO _{2e}	0,25 kgCO _{2e} /kWh

5.4 Análise comparativa de alternativas em termos de desempenho

A análise comparativa de alternativas atendeu aos indicadores de eficiência e de eficácia (Quadro 5.4). Para avaliação da eficiência considerou-se o consumo de energia normalizado das instalações elevatórias, dE2, e a energia em excesso por volume de consumo autorizado, dE20, e respectivos valores de referência, tal como propostos para avaliação da eficiência na captação, transporte e distribuição de água para os níveis de análise 1 a 3 (Quadro 2.2). Relativamente à eficácia, além da água não faturada, dE5, utilizou-se também um indicador complementar que avalia a idade da rede, índice de valor da infraestrutura. Para este último indicador, os valores de referência foram adaptados com base em Alegre e Covas (2010): [0,6; 1,0], desempenho bom, [0,3; 0,6], desempenho mediano, [0,0; 0,3], desempenho insatisfatório).

Tendo por base os pressupostos (Quadro 5.3) e o diagnóstico realizado no ano de referência (2018), previu-se o valor de anual de cada métrica entre o ano 2019 (ano 1) e o ano 2038, que coincide com ano horizonte de análise (ano 20) para cada alternativa. Adotou-se um período de análise suficientemente longo para avaliar o impacto de cada alternativa (Figura 5.2 e Figura 5.3).

O desempenho insatisfatório em termos de consumo de energia normalizado, dE2, em 2039, sinaliza a importância da seleção de equipamento de bombeamento com elevada eficiência e de boas práticas de manutenção destes equipamentos ao longo da sua vida útil esperada. Os indicadores de eficácia apontam para problemas de envelhecimento da rede, com desempenho insatisfatório em termos do índice de valor da infraestrutura. Este envelhecimento da rede acarretará um aumento das perdas de água e consequentemente da água não faturada, dE5, com valor no horizonte de análise significativamente superior ao do ano de referência, 15%.

O desempenho insatisfatório em termos do índice de valor da Infraestrutura e mediano em termos de água não faturada indica que, além da substituição prevista do troço de conduta envelhecido e com perda de carga elevada, é necessário programar a reabilitação faseada da restante rede, assim como gerir as perdas de água (reais e aparentes). No que se refere aos indicadores de cloro (máximos, mínimos), trihalometanos e parâmetros microbiológicos, não foi possível ter valores desagregados no subsistema no nível 3 no ano de referência, o que impossibilitou a previsão da sua evolução. Tratando-se de subsistemas com elevada sazonalidade e consumos baixos no inverno, é importante monitorizar estes parâmetros de qualidade da água para garantir que as alternativas propostas não comprometem a qualidade da água.

Após normalização dos indicadores no intervalo [0,0; 3,0] calculou-se o desempenho médio de cada alternativa no horizonte de análise.

Verifica-se que consumo de energia normalizado das instalações elevatórias entre 2019 e 2038 (Figura 5.2) diminui significativamente com a substituição dos grupos que integram a instalação elevatória H2. Contudo, no caso das alternativas que incidem apenas sobre a substituição de grupos (A1, A2), verifica-se que a substituição por grupos adequadamente dimensionados (A2) por reduzir a altura elevação atendendo às necessidades de pressão distintas no verão e inverno, conduz a uma maior diminuição do consumo de energia relativamente à alternativa A1. Realça-se que o desempenho em termos de consumo de energia normalizado é idêntico no caso das alternativas A2 e A5. Este indicador não realça a melhoria do desempenho por combinação da reabilitação de condutas com a substituição por grupos adequadamente (A5). A redução adicional do consumo de energia na alternativa A5 (redução da altura de elevação em 16 m c.a.) face a A2 (redução da altura de elevação em 13 m c.a.), é acompanhada também por uma redução do volume bombeado por redução de fugas com a reabilitação de condutas, fazendo com que o valor final seja próximo em ambas as alternativas.

Quadro 5.4 Desempenho dos indicadores de eficiência e de eficácia em 2039 e desempenho médio dos indicadores analisados entre 2019 e 2038

Alternativa	dE2, Consumo de energia das IE (kWh/(m³.100m))	dE20, Energia em excesso (kWh/m³)	Índice de valor da infraestrutura (-)	dE5, Água não faturada (%)	Desempenho médio no período de análise 2019-2039 (-)
A0: Statu quo	• 2,72	• 1,21	• 0,00	• 28,94	• 1,11
A1: Subs. bombas iguais	• 0,69	• 0,28	• 0,00	• 28,94	• 1,49
A2: Subs. de bombas redimensionadas	• 0,56	• 0,13	• 0,00	• 28,94	• 1,64
A3: Subs. condutas	• 2,72	• 1,13	• 0,25	• 24,13	• 1,49
A4: Subs. bombas iguais + condutas	• 0,67	• 0,26	• 0,26	• 24,13	• 1,87
A5: Subs. bombas redim. + condutas	• 0,56	• 0,10	• 0,26	• 24,13	• 2,02

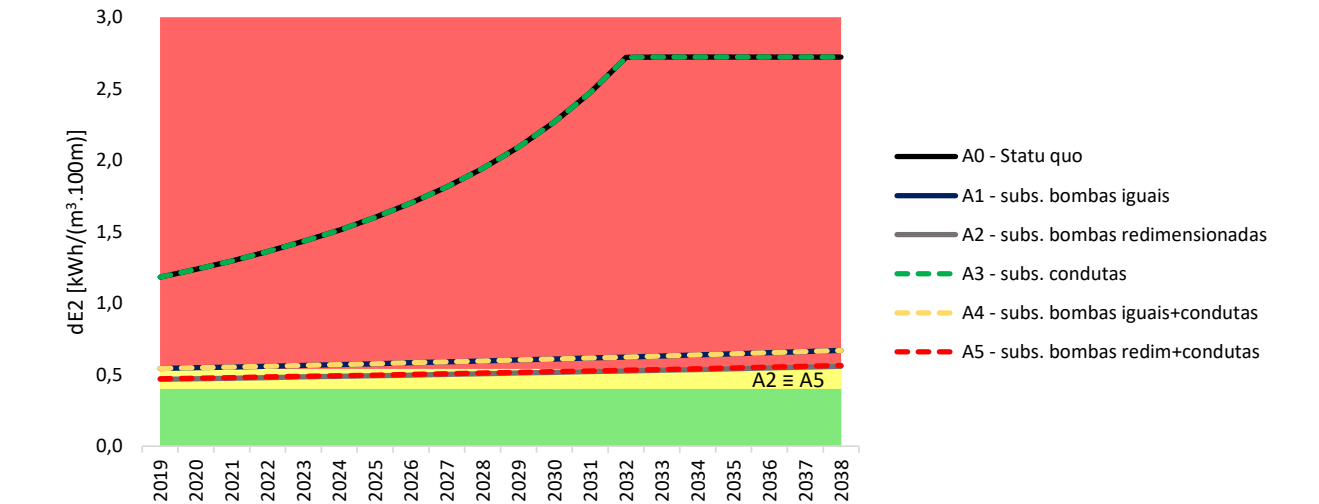


Figura 5.2 Evolução do consumo de energia normalizado das instalações elevatórias entre 2019 e 2039, dE2, kWh/(m³.100m)

No que se refere à evolução da energia em excesso por volume de consumo autorizado entre 2019 e 2038 (Figura 5.3), constata-se que as alternativas que apenas incidem sobre medidas isoladas, como a substituição de condutas (A3) e a substituição por grupos com características idênticas (A1) não são as que conduzem a uma maior redução da energia em excesso, mas sim alternativas combinadas. A substituição de condutas (A3) leva a uma redução do consumo de energia porque o volume bombeado também diminui face à redução de fugas nas condutas reabilitadas, mantendo o consumo autorizado. Verifica-se que o consumo de energia normalizado, dE2, não é sensível à redução de perdas de água, mantendo o desempenho de A0 e de A3 idêntico (Figura 5.2). Na Figura 3.3, a alternativa A5 é a que conduz a uma maior redução na energia em excesso e evidenciando melhoria no desempenho face à alternativa A2, que incide apenas sobre a substituição dos grupos eletrobomba. Deste modo, para avaliar o impacto de alternativas que combinem ações de melhoria em equipamentos, perdas de água e operação ou traçado o indicador dE20 revela-se mais adequado.

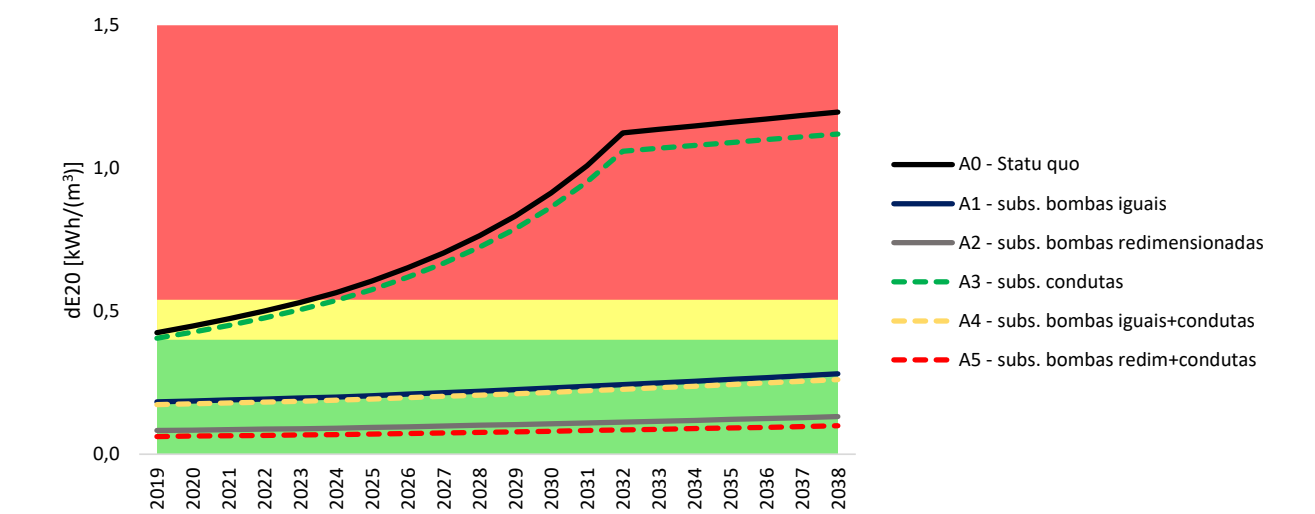


Figura 5.3 Evolução da energia fornecida em excesso entre 2019 e 2039, dE20, kWh/m³

5.5 Análise económica de alternativas atendendo a custos no ciclo de vida

O Quadro 5.5 apresenta, para cada alternativa, o investimento inicial, o valor atualizado líquido para os três valores considerados das taxas de atualização de 5%, 7%, 10% e o período de retorno do investimento. Todas as alternativas propostas apresentam um VAL positivo, representando soluções viáveis. A alternativa 5 apresenta o VAL mais elevado, apesar de ser a que envolve um maior investimento inicial. Qualquer das alternativas estudadas apresenta um período de retorno do investimento baixo. Realça-se também que alternativas que combinam a substituição de equipamentos com a reabilitação de condutas apresentam um período de retorno menor (A4, A5) do que a substituição isolada de condutas (A3).

Quadro 5.5 Investimento inicial (2018), valor atualizado líquido para as taxas de atualização de 5%, 7%, 10% e período de retorno do investimento para cada alternativa

Alternativa	Investimento (€)	VAL - 5% (€)	VAL - 7% (€)	VAL - 10% (€)	Período de retorno (anos)
A0: Statu quo	-	-	-	-	-
A1: Subs. bombas iguais	13 700 €	144 897 €	115 366 €	83 613 €	3
A2: Subs. de bombas redimensionadas	12 896 €	178 279 €	143 499 €	105 980 €	2
A3: Subs. condutas	38 835 €	46 264 €	30 726 €	14 190 €	8
A4: Subs. bombas iguais + condutas	52 535 €	177 930 €	136 082 €	90 996 €	5
A5: Subs. bombas redim + condutas	51 731 €	214 366 €	166 808 €	115 444 €	4

5.6 Priorização de alternativas e avaliação do impacto

No ano horizonte de análise, embora todas as alternativas analisadas apresentem um desempenho mediano, as alternativas A4 e A5, que combinam a reabilitação de condutas com a substituição de bombas adequadamente dimensionadas e operadas, apresentam melhor desempenho do que alternativas *like-for-like* (A1) ou alternativas que incidam apenas sobre a melhoria de eficiência dos equipamentos (A1, A2) (Figura 5.4). A escolha da alternativa a implementar depende do balanço entre capacidade financeira da EG para fazer face a estes gastos e a melhoria de desempenho esperada.

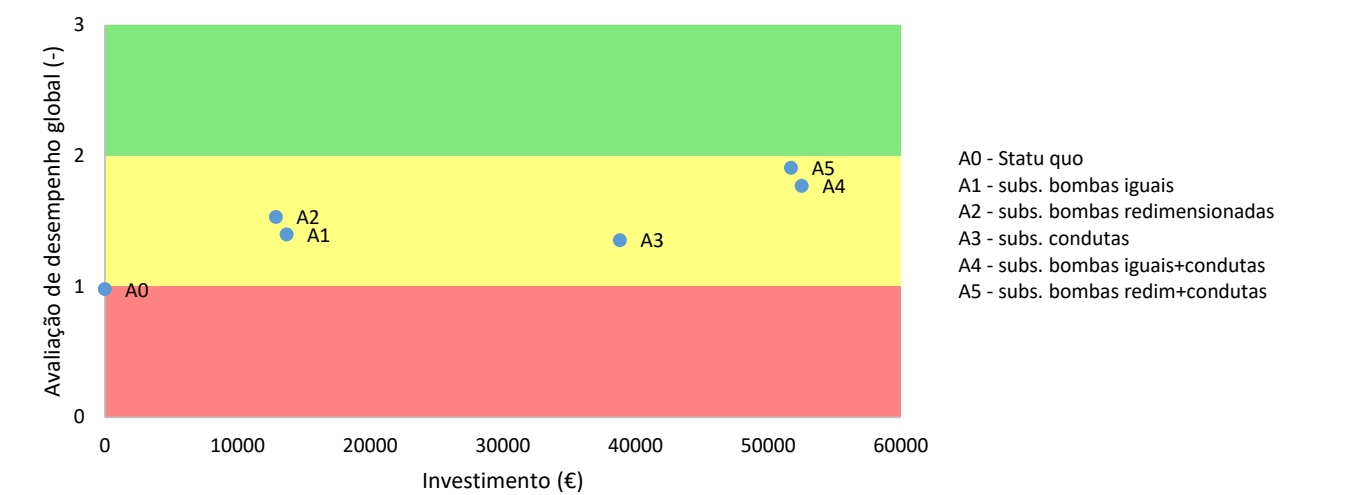


Figura 5.4 Investimento inicial necessário e desempenho médio no período de análise 2019-2039 para as várias alternativas

Em específico, o valor previsto para a energia em excesso por volume de consumo autorizado, dE20, no ano horizonte de análise para a alternativa A1, solução *like-for-like*, e para a alternativa A5, que combina a reabilitação de condutas com a substituição de bombas adequadamente dimensionadas e operadas (Figura 5.5), evidencia uma melhoria de desempenho muito significativa, diminuindo de 0,29 kWh/m³ (A1) para 0,10 kWh/m³ (A5).

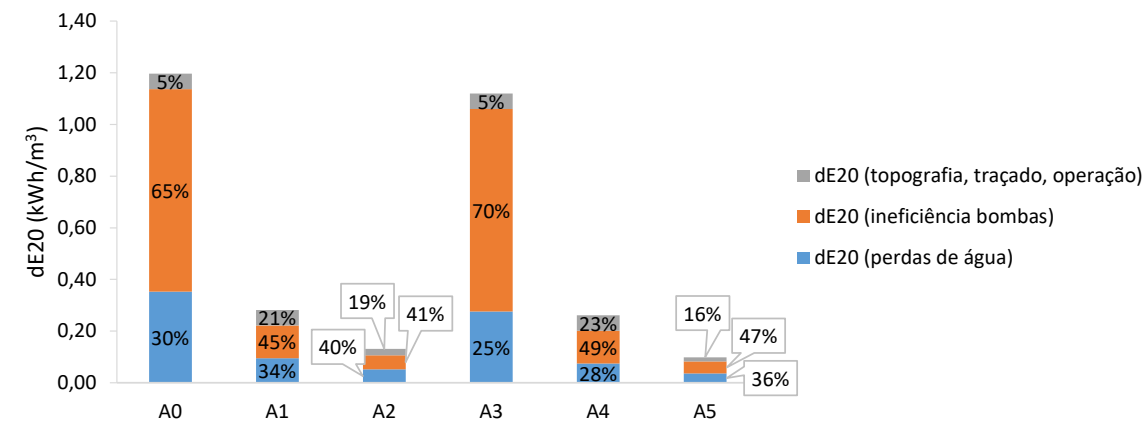


Figura 5.5 Energia em excesso por volume de consumo autorizado e respetiva fração associada a perdas de água, ineficiência em bombas e associada a traçado e operação para o ano horizonte de análise para as várias alternativas estudadas

Em termos de impacto (Quadro 5.6), a alternativa A5 apresenta uma redução do consumo de energia elétrica e nas emissões de kgCO_{2e} ao fim de 20 anos de 88% face à alternativa A0. Para estimar a emissão de gases de efeito de estufa devido ao consumo de energia, considerou-se um fator de emissão de 0,25 kg CO_{2e}/kWh (DGEG).

Quadro 5.6 Impacto das alternativas analisadas em termos de energia elétrica e de emissões de CO_{2e}

Alternativa	Energia acumulada para bombeamento ao final de 20 anos (kWh)	Emissões de CO ₂ devido ao bombeamento ao final de 20 anos (kgCO _{2e})	Redução no consumo de energia e nas emissões de kgCO _{2e} de energia face a A0 ao fim de 20 anos (%)
A0: <i>Statu quo</i>	2 160 237	540 059	0%
A1: Subs. bombas iguais	627 225	156 806	71%
A2: Subs. de bombas redimensionadas	315 563	78 891	85%
A3: Subs. condutas	2 047 335	511 834	5%
A4: Subs. bombas iguais + condutas	595 300	148 825	72%
A5: Subs. bombas redim + condutas	254 626	63 657	88%

06

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PARA PRIORIZAÇÃO DE ALTERNATIVAS NA EG F

6.1 Síntese do diagnóstico na EG F

A Figura 6.1 apresenta uma síntese do diagnóstico para a EG F na qual uma das etapas considerada prioritária foi o tratamento de águas residuais.

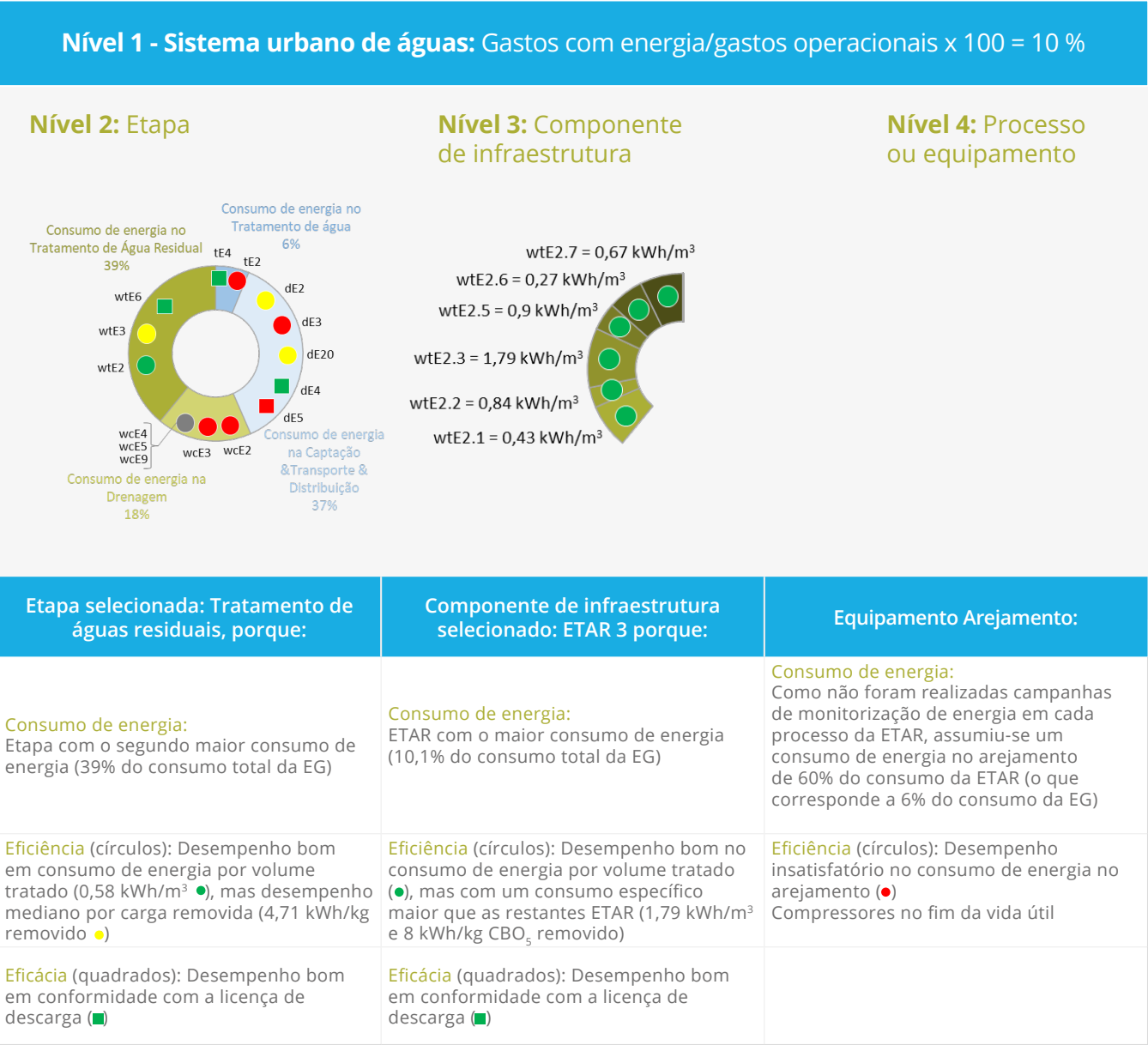


Figura 6.1 Síntese do diagnóstico para a etapa de tratamento de águas residuais na EG F

6.2 Especificação de alternativas

A ETAR prioritária de tratamento de água residual, que representa 10% do consumo na entidade gestora, apresenta um desempenho mediano em termos de consumo de energia por carga removida e um desempenho insatisfatório no consumo de energia no arejamento por difusores de ar e compressores.

Para este componente de infraestrutura prioritária de análise (ETAR 3) especificaram-se as seguintes alternativas:

- A0 – Situação de *statu quo* (sem intervenções de reabilitação e mantendo as práticas atuais de operação e manutenção);
- A1 – Substituição dos 2 compressores de êmbolos rotativos no fim de vida por 2 compressores com características iguais;
- A2 – Substituição dos 2 compressores de êmbolos rotativos no fim de vida por 2 compressores centrífugos mais eficientes e respetivas alterações do sistema de difusão do ar.

6.3 Recolha de dados para caracterização da ETAR, compressores, alternativas e pressupostos

No Quadro 6.1 apresentam-se os dados necessários para caracterização da ETAR e dos compressores, no Quadro 6.2 os dados necessários ao estudo das alternativas e no Quadro 6.3 os pressupostos adotados.

Quadro 6.1 Dados necessários para caracterização da ETAR e dos compressores

Dado	Valor em 2018
Água residual tratada (m³/ano)	50 898
CBO ₅ removido (kg/ano)	11 317
Preço da eletricidade (€/KWh)	0,17
Energia consumida na ETAR (kWh/ano)	90 600
Energia consumida na EG (kWh/ano)	1 504 150
ETAR	
Capacidade total da ETAR (m³/d)	270
Nível de tratamento	Secundário
Tipo de tratamento	Lamas ativadas de arejamento prolongado
Ano de instalação	2001
Vida útil (anos)	40
Vida residual (anos)	20
Custo de construção (€)	3 000 000
Compressores	
Designação	Compressor de êmbolos rotativos
Número de grupos	2
Caudal de ar (m³/h)	65
Potência (kW)	4
Pressão de saída (mbar)	480
Ano de instalação	2001
Energia consumida no arejamento (kWh/ano)	54 360
Vida útil (anos)	20
Vida residual (anos)	0
Custo (€)	20 000

Quadro 6.2 Dados necessários ao estudo de alternativas para os compressores da ETAR

Dado	Valor em 2018
Alternativa 1 - Substituição dos compressores de êmbolos rotativos no fim de vida por compressores com características iguais	
Número de compressores a substituir	2
Caudal de ar (m³/h)	65
Potência (kW)	4
Pressão de saída (mbar)	480
Eficiência dos compressores (%)	65
Alternativa 2 - Substituição dos compressores de êmbolos rotativos no fim de vida por compressores centrífugos mais eficientes	
Número de compressores a substituir	2
Caudal de ar (m³/h)	65
Potência (kW)	4
Pressão de saída (mbar)	480
Eficiência dos compressores (%)	70

Quadro 6.3 Síntese dos pressupostos adotados para estudo de alternativas

Dado		Valor em 2018
Valor Atual Líquido	Taxas de juro	5 %
		7 %
		10 %
Vidas úteis	Vida útil dos compressores	20 anos
	Custo de manutenção anual da ETAR dentro do período de vida útil (percentagem de custo de construção)	0,5 %/ano
	Custo de manutenção anual da ETAR de distribuição fora do período de vida útil (percentagem de custo de construção)	1,0 %/ano
	Custo de manutenção anual de compressores dentro do período de vida útil (percentagem de custo de construção)	5 %/ano
	Custo de manutenção anual de compressores fora do período de vida útil (percentagem de custo de construção)	10 %/ano
Degradação da eficiência	Taxa de degradação da eficiência dos compressores dentro do período de vida útil	0,5 %/ano
	Taxa de degradação da eficiência dos compressores fora do período de vida útil	1,0 %/ano
	Limite mínimo de eficiência dos compressores	25 %
	Taxa de colmatção dos difusores	1 %/ano

6.4 Análise comparativa de alternativas em termos de desempenho

Considerando os dados e pressupostos apresentados na seção 6.3, estimou-se o desempenho de cada alternativa utilizando os indicadores de eficiência e de eficácia. No Quadro 6.4 apresentam-se os resultados do desempenho de cada alternativa no ano 2018 e no ano horizonte de análise 2038.

Na etapa de tratamento de águas residuais, o indicador de eficácia é utilizado à partida para validação ou exclusão das alternativas, pois uma alternativa que comprometa a eficácia não pode ser considerada. Neste caso, todas as alternativas garantem a eficácia do tratamento. Para cálculo do desempenho global de eficiência, os resultados de cada indicador de eficiência foram posteriormente adimensionados com base nos valores de referência de cada indicador.

Quadro 6.4 Desempenho dos indicadores de eficiência no ano 2018 e de eficácia no ano horizonte de análise 2038

Critério	Eficácia		Eficiência				Eficiência global (-)	
Alternativa	Conformidade com a licença de descarga		Consumo de energia por volume tratado		Consumo de energia por carga removida			
Ano	2018	2038	2018	2038	2018	2038	2018	2038
A0	100% • 3	100% • 3	1,78 kWh/m³ • 2,11	4,49 kWh/m³ • 0,20	8 kWh/kg • 1,25	20 kWh/kg • 0,08	• 1,68	• 0,14
A1	100% • 3	100% • 3	1,34 kWh/m³ • 2,33	2,27 kWh/m³ • 1,45	6 kWh/kg • 1,50	10,2 kWh/kg • 0,98	• 1,91	• 1,21
A2	100% • 3	100% • 3	1,14 kWh/m³ • 2,43	1,88 kWh/m³ • 2,05	5,2 kWh/kg • 1,61	8,5 kWh/kg • 1,19	• 2,02	• 1,62

Na Figura 6.2 e na Figura 6.3 demonstra-se a evolução temporal, entre 2018 e 2038, da estimativa do consumo de energia por volume tratado e por carga removida para cada alternativa e comparação com os valores de referência.

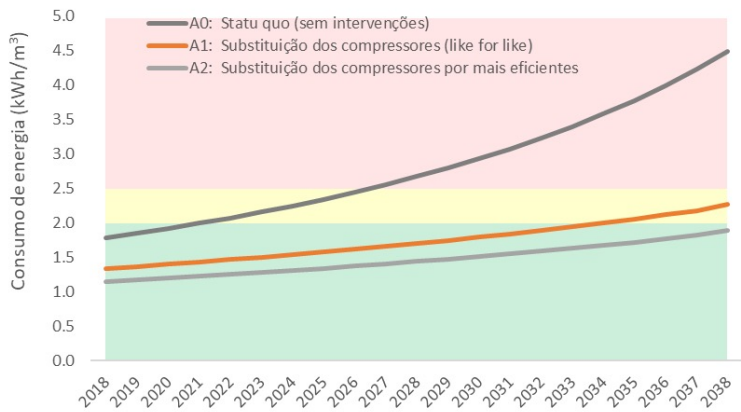


Figura 6.2 Evolução do consumo de energia por volume tratado entre 2018 e 2038

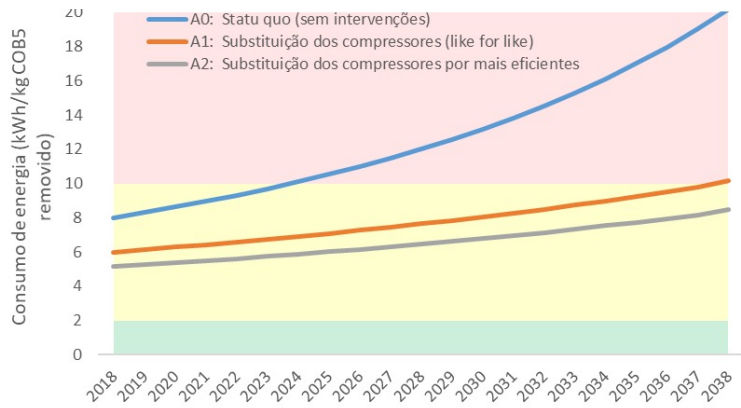


Figura 6.3 Evolução do consumo de energia por carga de CBO₅ removida entre 2018 e 2038

6.5 Análise económica de alternativas atendendo a custos no ciclo de vida

A análise económica de alternativas é realizada tendo em conta os principais custos durante o ciclo de vida dos ativos que integram as infraestruturas urbanas de águas, i.e., construção, operação e manutenção, e reabilitação.

Na rubrica dos proveitos considerou-se a poupança dos gastos em energia e em manutenção da alternativa A0, e na rubrica dos gastos, os gastos em manutenção, energia e amortização do investimento da cada alternativa em estudo.

Relativamente aos custos dos compressores de êmbolos rotativos, utilizou-se as funções de custo desenvolvidas no projeto (Cabral et al. 2020). Para os custos dos compressores centrífugos utilizou-se o orçamento de um fornecedor, incluindo os custos de substituição das condutas existentes por outras em PVC e de diâmetro de classe superior, trabalhos de abertura e fecho de vala, aspiração dos tanques de arejamento, seu transporte e despejo noutros sistemas de drenagem.

No Quadro 6.5 apresenta-se o investimento inicial, valor atualizado líquido para taxas de atualização de 5%, 7%, 10% e período de retorno do investimento para cada alternativa. Para as alternativas A1 e A2, os VAL são superiores a 0 para as diferentes taxas de atualização consideradas (5, 7 e 10%), pelo que os cash-flows gerados são superiores ao exigido, isto é, são suficientes para pagar o investimento feito mais o retorno exigido, com um período de retorno do investimento de 3 anos.

Quadro 6.5 Desempenho dos indicadores de eficiência no ano 2018 e de eficácia no ano horizonte de análise 2038

Alternativa	Investimento (€)	VAL - 5% (€)	VAL - 7% (€)	VAL - 10% (€)	Período de retorno (anos)
A0: Statu quo	-	-	-	-	-
A1: Substituição de compressores (like for like)	10 310 €	66 299 €	52 219 €	37 136 €	3
A2: Substituição por compressores mais eficientes	10 800 €	82 541 €	65 644 €	47 529 €	3

6.6 Priorização de alternativas e avaliação do impacto

A priorização deve atender à avaliação de desempenho e à análise económica de cada alternativa. Na Figura 6.4 apresenta-se, para cada alternativa, a relação entre a avaliação de desempenho global da eficiência energética e o investimento inicial necessário. Para as alternativas A1 e A2, o desempenho global médio dos 20 anos é mediano, A1 com 1,68 e A2 com 1,85, tendo a alternativa A0 um desempenho global insatisfatório, com 0,93. Em termos de investimento inicial, as alternativas A1 e A2 apresentam ambas valores muito semelhantes.

Em termos de impacto (Quadro 6.6), a alternativa A1 apresenta uma redução do consumo de energia ao fim de 20 anos de 39% e a alternativa A2 de 48%. Para estimar a emissão de gases de efeito de estufa devido ao consumo de energia, considerou-se a evolução do fator de emissão de Portugal entre 2000 e 2018, que variou entre 0,43 kg CO_{2e}/kWh e 0,25 kg CO_{2e}/kWh (DGEG), e assumiu-se esta tendência nos próximos 20 anos, chegando a 2038 com 0,21 kg CO_{2e}/kWh.

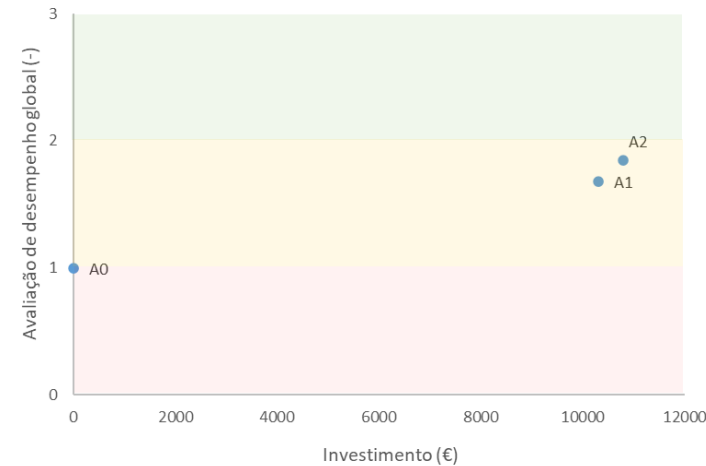


Figura 6.4 Investimento inicial necessário e avaliação do desempenho global médio dos 20 anos de análise para as várias alternativas

Quadro 6.6 Impacto das alternativas analisadas em termos de energia e de emissões de CO₂

Alternativa	Energia consumida ao fim de 20 anos (kWh)	Redução do consumo de energia face a A0 ao fim de 20 anos (%)	Emissões de CO _{2e} devido ao consumo de energia ao fim de 20 anos (kgCO _{2e})
A0	1 817 536	-	407 244
A1	1 111 252	39%	250 531
A2	938 554	48%	211 691

Face aos resultados apresentados, a alternativa selecionada foi a A2, ou seja, a substituição dos 2 compressores de êmbolos rotativos no fim de vida por 2 compressores centrífugos mais eficientes e respetivas alterações do sistema de difusão.

PARTE III

MONITORIZAÇÃO E REVISÃO DO PLANO

METODOLOGIA PARA MONITORIZAÇÃO E REVISÃO DO PLANO

A monitorização do plano de ação para a eficiência energética nos serviços urbanos de águas deve ter por base uma adequada programação das medidas de melhoria selecionadas. O horizonte temporal previsto para a implementação das medidas de melhoria de eficiência energética nos serviços urbanos de água varia tipicamente entre 3 e 5 anos. A programação das ações deve especificar as diferentes atividades previstas, assim como o seu grau de realização ao longo do tempo (Quadro 7.1).

Quadro 7.1 Exemplo de programação das medidas para melhoria da eficiência energética nos serviços urbanos de águas

Medidas	Data/ Período inicial (2020-2021)	Data/ Período intermédio (2022-2023)	Data/ Período de conclusão (2024-2025)
Reabilitação das condutas e dos ramais na Zona baixa	Substituição programada de 1 km por ano		
Substituição de grupos eletrobomba submersíveis envelhecidos na Zona média	Substituição do grupo submersível F1	-	Substituição do grupo submersível F2
Atualização e informatização do cadastro	Especificação dos dados a recolher Realização de candidatura a fundos de apoio	Levantamento cadastral da zona baixa	Levantamento cadastral da Zona média Estabelecimento de procedimentos para atualização do cadastro.

A monitorização, efetuada, por exemplo, anualmente, visa rastrear o progresso alcançado, as dificuldades encontradas na implementação das medidas de melhoria de eficiência energética e os desvios ao plano de ação, assim como apoiar a sua revisão. Permite a identificação precoce de eventuais desvios na implementação do plano que obriguem à adoção de ações corretivas de melhoria que garantam o cumprimento dos objetivos estabelecidos. Outro aspeto fundamental é a necessidade de serem definidos precocemente os procedimentos para tratar os desvios ao plano, ou seja, as ocorrências não previstas no plano, com impacto na sua implementação (iGPI, 2015, ERSAR e LNEC 2017).

Outro benefício que resulta da aplicação regular do sistema avaliação é a rastreabilidade obtida em termos dos progressos alcançados ou de dificuldades encontradas no desenvolvimento do processo de melhoria da eficiência energética nos serviços urbanos de águas.

Sistematizando, a monitorização do plano de ação consiste na aplicação periódica do sistema avaliação para:

- cálculo sistemático de todas as métricas ao nível 1 e ao nível 2 e comparação com os respetivos valores de referência;
- para a(s) etapa(s) crítica(s) identificadas ao nível 2, cálculo sistemático de todas as métricas ao nível 3 e comparação com os respetivos valores de referência;
- quando adequado, para o(s) processo(s) ou equipamento(s) críticos, cálculo sistemático das métricas relevantes ao nível 4 e comparação com os respetivos valores de referência;
- identificação de desvios ao plano de ação;
- reporte anual dos resultados da monitorização.

As métricas que compõem o sistema de avaliação para os quatro níveis de análise são apresentadas no capítulo 2.2.

Recordam-se no Quadro 2.2 as métricas selecionadas para diagnóstico nos níveis de análise 1 – 3. Ilustra-se no Quadro 7.2 um exemplo de monitorização do progresso no desempenho, com aplicação do sistema de avaliação no nível 3 na etapa de captação, transporte e distribuição de água.

Quadro 7.2 Exemplo de monitorização do progresso no desempenho com aplicação do sistema de avaliação no nível 3 na etapa de captação, transporte e distribuição de água

Métricas	Tempo inicial (2020)	t 2021	Meta para t 2023	Comentários (avaliação do progresso, identificação de desvios e causas)
Eficiência				
Consumo de energia normalizado (kWh/(m³.100m))	• 0,8	• 0,6	0,4 •	É expectável o cumprimento da meta estabelecida para 2023.
Energia em excesso por volume de consumo autorizado (kWh/m³)	• 0,5	• 0,4	0,3 •	É expectável o cumprimento da meta estabelecida para 2023.
Eficácia				
Água não faturada (%)	• 30	• 28	25 •	É expectável o cumprimento da meta estabelecida para 2023.
Perdas reais (l/(ramal.dia))	• 150	• 125	120 •	É expectável o cumprimento da meta estabelecida para 2023.

No Quadro 7.3 ilustra-se um desvio identificado ao plano de ação para melhoria da eficiência energética. No Quadro 7.4 ilustram-se os procedimentos para tratar os desvios ao plano e no Quadro 7.5 exemplifica-se a monitorização do nível de implementação das medidas em 2021.

Quadro 7.3 Exemplo de desvio identificado

Identificação dos desvios ao plano	Descrição dos desvios ao plano	Tipo de desvio	Data de ocorrência	Domínio de aplicação
DESV 01	Intervenção na rede com substituição de condutas por rotura causada por obra de acessos na via pública	Tipo 1 Intervenção não planeada em resposta a ocorrência imprevista de terceiros	2020/03-06	Área de análise da Zona baixa

Quadro 7.4 Procedimentos para tratar os desvios ao plano

Atividades	Periodicidade (meses)	Comentários responsabilidades e informação relevante)
Recolha de informação para identificação de ocorrências ou intervenções não previstas com impacto na implementação do plano	12	O Departamento de Engenharia fica responsável pelo registo de ocorrências ou intervenções não previstas com impacto na implementação do plano (a incorporar posteriormente neste plano)
Compilação e análise de informação	12	O Departamento de Sistemas de Informação deve avaliar alterações da informação e atualizar a informação operacional e infraestrutural disponíveis

Quadro 7.5 Monitorização do nível de implementação das medidas em 2021

Medidas	Implementação das medidas	Cumprimento do planeamento	Comentários (avaliação do progresso, com identificação das causas de eventuais incumprimentos e apresentação de medidas de mitigação)
Substituição por grupos eletrobomba adequadamente dimensionados e operados	Substituição dos grupos submersíveis F1 e F2	✓	Implementação de acordo com o planeado
Reabilitação das condutas e dos ramais na Zona baixa	Reabilitação da rede apenas iniciada em 2021	X	Implementação inferior ao planeado
Atualização e informatização do cadastro	Especificação dos dados a recolher e candidatura a fundos de apoio	✓	Implementação de acordo com o planeado

Os resultados da monitorização destinam-se à avaliação do plano e, posterior, tomada de decisão sobre ajustes ou correções a incorporar no plano (Quadro 7.6). A revisão do plano pretende assegurar que este está sempre atualizado e visa atingir os seguintes objetivos (iGPI, 2015, ERSAR e LNEC 2017):

- análise dos resultados de monitorização e da ocorrência de desvios ao planeamento;
- identificação das causas de desvios e medidas de melhoria;
- reconhecimento da necessidade de proceder a ajustes nos objetivos, critérios de avaliação, métricas, metas ou táticas;
- reporte e divulgação dos resultados.

Quadro 7.6 Revisão do plano

Identificação da revisão	Data: junho 2021	
Monitorização [identificação]	Ocorrências de desvios ao plano [sim / não]	Comentários (avaliação da implementação do plano tático e do impacto de eventuais desvios na sua revisão)
Monit.1_2020 DESV 01	sim	Alteração de informação de cadastro na área de análise.

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PARA MONITORIZAÇÃO DO PLANO NA EG B

8.1 Síntese do diagnóstico na EG B

O plano de ação para a eficiência energética decorre do diagnóstico feito que, portanto, importa apresentar previamente à monitorização. A Figura 8.1 apresenta uma síntese do diagnóstico realizado para a EG B no âmbito do projeto Avaler+. Nesta EG a etapa considerada prioritária foi o tratamento de águas residuais, que representa 81% do consumo total de energia na EG. Os resultados dos indicadores de eficácia mostram 100% de conformidade com a licença de descarga e os de eficiência energética mostram desempenho bom em termos de energia consumida por volume tratado e desempenho mediano por massa removida. Na EG B, o tratamento de águas residuais é feito em 23 ETAR, mas uma das ETAR representa 71% do consumo total da EG. Verificou-se que o consumo de energia da ETAR 1 teve um desempenho bom. Porém, como representa uma grande fatia do consumo energético, foi esta a ETAR selecionada para análise do potencial de melhoria de eficiência energética. Assim, foram realizadas campanhas de medição de consumo de energia em cada processo da ETAR 1. Os resultados identificaram o arejamento como responsável pelo maior consumo de energia na ETAR 1, representando 45% do consumo de energia da EG B, e com desempenho mediano.

O desempenho energético do arejamento, bem como dos demais processos da ETAR, é avaliado através de índices de desempenho ao longo do ano (apresentados na secção 2.2.3). A eficiência energética no arejamento depende, além da eficiência do equipamento (neste caso difusores de ar), do balanço entre o oxigénio fornecido e o oxigénio necessário, que variam em função da carga orgânica afluente, do modo de operação, da temperatura, entre outros. Os índices e respetivos valores de referência para o consumo de energia no arejamento dependem então destes fatores. Na ETAR 1, o índice de energia no arejamento indica um desempenho mediano, uma vez que o fornecimento de oxigénio não foi ajustado à menor a carga afluente observada na altura da campanha. Além disso, a ETAR 1 foi operada

com um teor em oxigénio dissolvido no reator muito elevado.

A recirculação de correntes entre processos de tratamento foi responsável por 8% do consumo de energia da EG B, mas apresentou desempenho mediano. Os valores de referência para o consumo de energia na recirculação, que determinam o nível de desempenho, estão associados à razão de recirculação e à eficiência das bombas de recirculação. A razão de recirculação encontrou-se dentro do típico para o processo de lamas ativadas instalado na ETAR 1, mas a eficiência das bombas de recirculação esteve próxima do insatisfatório (45%).

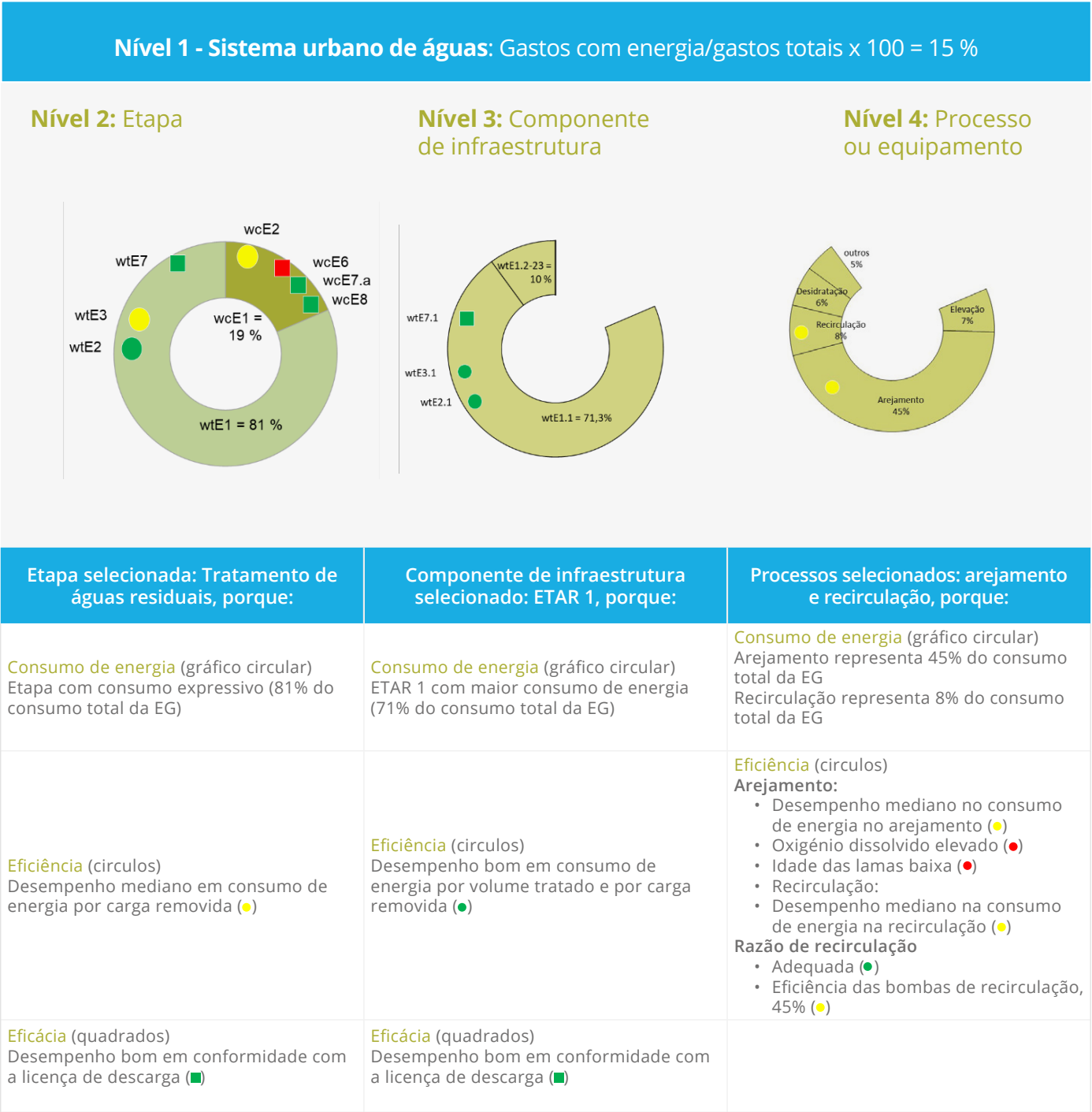


Figura 8.1 Síntese do diagnóstico para a etapa de tratamento de águas residuais na EG B (círculos representam métricas de eficiência, quadrados métricas de eficácia)

8.2 Monitorização do desempenho

O horizonte temporal previsto para a implementação das medidas de melhoria de eficiência energética na EG B foi de 5 anos. No Quadro 8.1 apresenta-se a programação das medidas de melhoria não-infraestruturais e infraestruturais, com a especificação das diferentes atividades previstas, na etapa de tratamento de águas residuais, no horizonte de 2018-2022.

Quadro 8.1 Programação das medidas para melhoria da eficiência energética na etapa de tratamento de águas residuais no horizonte de 2018-2022

Medidas	Data/ Período inicial (2018-2019)	Data/ Período intermédio (2020-2021)	Data/ Período de conclusão (2022)	
Não-infraestruturais	Ajuste do setpoint de oxigénio dissolvido	Ajuste dinâmico		
	Ajuste do fornecimento de oxigénio em função da carga afluente	Ajuste contínuo ao longo do período		
	Aumento da idade das lamas na ETAR	Ajuste contínuo ao longo do período		
	Campanha de medição de energia em cada uso	-	-	Realização de uma campanha de medição de energia, após medidas infraestruturais
Infraestruturais	Substituição de bombas de recirculação de lamas secundárias para o tanque de arejamento	-	Substituição de uma bomba de recirculação de lamas (das 3 existentes) em abril de 2021	Substituição de uma bomba de recirculação de lamas em 2022
	Substituição de compressores para arejamento	-	-	Substituição de um compressor (dos 3 existentes) e da rede difusora de ar

Para monitorização do progresso do desempenho foi feito o cálculo sistemático de todas as métricas ao nível 3, i.e. ETAR1, de 2018 a 2020, e comparação com os respetivos valores de referência e com a meta definida para 2022 (Quadro 8.2). Neste período de monitorização (2018-2020), como planeado, não foram implementadas medidas infraestruturais.

Quadro 8.2 Monitorização do progresso no desempenho com aplicação do sistema de avaliação no nível 3 na etapa de tratamento de águas residuais da EG B

Métricas	Tempo inicial (2017)	Monitorização			Meta para t 2022	Comentários (avaliação do progresso, identificação de desvios e causas)
		t 2018	t 2019	t 2020		
Etapa de tratamento de águas residuais – ETAR 1						
wtE2, Consumo de energia por volume de água residual tratada em ETAR (kWh/m³)	0,38 •	0,33 •	0,31 •	0,28 •	0,30 •	É expectável o cumprimento da meta estabelecida para 2022.
wtE3, Consumo de energia por massa de CBO ₅	1,84 •	2,70 •	1,87 •	2,38 •	1,50 •	Os anos com maior wtE3 estão relacionados com menor carga removida
wtE4, Consumo de energia no encaminhamento de lamas (kWh/m³)	nd	nd	nd	nd	nd	
wtE5, Produção de energia a partir do biogás (kWh/m3)	na	na	na	na	na	
Eficácia						
wtE7, Cumprimento de licença de descarga (%)	100 •	100 •	100 •	100 •	100 •	É expectável o cumprimento da meta estabelecida para 2022.

na: métrica não aplicável | nd: dados não disponíveis

Verificou-se uma melhoria no consumo de energia por volume tratado com uma redução de 26% de 2017 para 2020. O consumo de energia por carga removida variou entre o desempenho bom e mediano ao longo dos anos analisados, estando o desempenho mediano relacionado com uma menor carga de CBO₅ removida. Desde modo, verifica-se a necessidade de proceder, de forma contínua, à medida não-infraestrutural de ajuste do fornecimento de oxigénio em função da carga afluente.

Para o cálculo sistemático das métricas relevantes para o(s) processo(s) ou equipamento(s) críticos e comparação com os respetivos valores de referência será necessário realizar a campanha de medição de energia, prevista para 2022 após a instalação do novo compressor.

A avaliação do nível de implementação das medidas de melhoria (Quadro 8.3) demonstra que algumas medidas foram implementadas de acordo com o planeado. Verifica-se, no entanto, que existem medidas não infraestruturais (e.g., ajuste do arejamento à carga afluente) a manter (e a melhorar a sua implementação) aquando da revisão do plano.

Quadro 8.3 Monitorização do nível de implementação das medidas

Medidas	Implementação das medidas	Cumprimento do planeamento	Comentários (avaliação do progresso, com identificação das causas de eventuais incumprimentos e apresentação de medidas de mitigação)
Ajuste do setpoint de oxigénio dissolvido		✓	Deve ser melhorado
Ajuste do fornecimento de oxigénio em função da carga afluyente		✓	Deve ser melhorado
Aumento da idade das lamas na ETAR	Ainda não foi implementado	X	Esta medida tem outras implicações e ainda não foi efetuado o ajuste
Campanha de medição de energia em cada uso	-	✓	A implementar, conforme planeado, em 2022
Substituição de bombas de recirculação de lamas para o tanque de arejamento	Substituição de uma bomba de recirculação de lamas em abril de 2021	✓	Uma bomba já substituída de acordo com o planeado; outra bomba a ser substituída em 2022, conforme planeado
Substituição de compressores para arejamento	-	✓	Substituição de um compressor e da rede difusora de ar - a implementar em 2022, conforme planeado

REFERÊNCIAS

- Alegre H., Covas D. (2010). Gestão patrimonial de infraestruturas de abastecimento de água: uma abordagem centrada na reabilitação. Guia Técnico n.º 16, ERSAR, LNEC, IST, Lisboa, Portugal. 472 p., ISBN: 978-989-8360-04-5.
- Cabral, M. (2021). Towards a better urban water infrastructure asset management by condition assessment and cost modelling, Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa.
- Cabral, M., Covas, D., Loureiro, D., Santos, P (2020). Custos de Investimento e de Operação & Manutenção de Ativos Associados ao Ciclo Urbano de Água, Deliverable D2.1 do projeto AVALER+, Tarefa 2.
- Coelho S. T., Vitorino D., Alegre H. (2013). AWARE-P: a system-based software for urban water IAM planning, IWA 4th Leading Edge Conference on Strategic Asset Management, LESAM 2013, Sydney, Austrália, 10-12 setembro.
- Covas D., Cabral M., Pinheiro A., Marchionni V., Antunes S., Lopes N., Mamouros L., Brôco N. (2018). Custos de construção de infraestruturas associadas ao ciclo urbano da água, Guia Técnico N.º 23, Instituto Superior Técnico (IST), Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (ERSAR).
- ERSAR e LNEC (2017). Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores, 3.ª geração do sistema de avaliação. Guia Técnico n.º 22, ERSAR, LNEC.
- RASARP (2018). Relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal, Volume 1 – Caracterização do setor de águas e resíduos (dados de 2017). Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, ISBN 978-972-98996-2-1.
- iGPI (2015). Elaboração de um Plano Tático de GPI. Linhas Orientadoras. iGPI - Iniciativa Nacional para a Gestão Patrimonial de Infraestruturas, Edição 2015. iGPI 2015 (Fase 2).
- ISO 15686-1:2011. Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 1: General principles and framework. International Standardization Organization. Geneve.
- LBNL (2006). Improving Pumping System Performance: A Sourcebook for Industry, 2.ª ed. Lawrence Berkeley National Laboratory, acedido em janeiro de 2020 em <https://www.nrel.gov/docs/fy06osti/37637.pdf>.
- Loureiro D., Silva C., Cardoso M.A., Mamade A., Alegre H., Rosa M.J. (2020a). The development of a framework for assessing the energy efficiency in urban water systems and its demonstration in the Portuguese water sector. Water 12, 134. doi:10.3390/w12010134.
- Loureiro, D., Silva, C., Pisoeiro, J., Cardos, M. A., Alegre, H., Rosa, M. J. (2020b). Sistema de avaliação da eficiência energética nos serviços urbanos de águas para os quatro níveis de análise, Deliverable D2.3 do projeto avaler+, Tarefa 2.
- Loureiro, D., Silva, C., Pisoeiro, J., Cardos, M. A., Alegre, H., Rosa, M. J. (2020c). Metodologia e resultados do diagnóstico de eficiência energética nos serviços urbanos de águas, Deliverable D3.2 do projeto Avaler+, Tarefa 3.
- Loureiro, D., Silva, C., Pisoeiro, J., Rosa, M. J. (2020d) - Plano de ação – Parte I: Diagnóstico de eficiência energética nos serviços urbanos de águas (1 relatório geral e 12 relatórios individuais de cada EG), Deliverable D3.3 do projeto Avaler+, Tarefa 3.
- Mamade A., Monteiro L., Maricato N., Alves Z., Loureiro D., Covas D. (2018). Assessing the Impact of Network Layout on Energy Efficiency, Water Losses and Water Quality in water distribution systems, 1st International WDSA / CCWI 2018 Joint Conference, Kingston, Ontario, Canadá, 23-25 julho.
- Myles K. (2002). Pumps: Principles and Practice, 3.ª ed. ISBN: 978-0620284509.
- Naik K.S., Stenstrom M.K. (2016). A feasibility analysis methodology for decentralized wastewater systems – energy-efficiency and cost. Water Environment Research 88(3), 201-209. <https://doi.org/10.2175/106143016X14504669767337>.
- Pisoeiro J., Loureiro D., Cardoso M.A., Alegre H. (2020). Metodologia para cálculo dos balanços energéticos nas etapas de captação, transporte e distribuição de água e na etapa de recolha e transporte de águas residuais. Deliverable D2.2, projeto Avaler+.

- Poças A., Loureiro D., Mamade A., Alegre H. (2017). Exploring assessment systems for water loss and energy diagnosis and prioritization, Leading Edge Sustainable Asset Management (LESAM), Trondheim, Noruega, 20-22 julho.
- Silva C., Rosa M.J. (2020) Performance Assessment of 23 Wastewater Treatment Plants - A Case Study. Urban Water Journal 17(1) 78-85. doi: 10.1080/1573062X.2020.1734634
- Silva C., Matos J.S., Rosa M.J. (2016) Estratégia para o desenvolvimento da 3.^a geração do sistema de avaliação de desempenho de ETAR. Águas&Resíduos IV.1, 70-82. doi: 10.22181/aer.2016.0107.
- Silva C., Rosa M. J. (2021). Reference values for benchmarking the energy performance uses in activated sludge systems (submetido para publicação em revista científica).
- Spellman F. (2013). Water & wastewater infrastructure – energy efficiency and sustainability. Taylor & Francis Group, New York, ISBN: 978-1-4665-1785-1.



GUIA PARA DIAGNÓSTICO, PRIORIZAÇÃO DE ALTERNATIVAS, MONITORIZAÇÃO E REVISÃO DO PLANO DE AÇÃO

Dezembro 2021

Promotores:



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL



TÉCNICO
LISBOA

Financiado por:



Fundo de Apoio à Inovação
Energias Renováveis e Eficiência Energética