

BRUNO ALEXANDRE FILIPE DUARTE

**IMPORTÂNCIA DE COMPONENTES EM
SISTEMAS DE ÁGUAS RESIDUAIS E PLUVIAIS**

Orientadora: Doutora Maria do Céu de Sousa Teixeira de Almeida

Coorientadora: Doutora Maria Adriana Canas Mendes de Almeida Cardoso

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

Faculdade de Engenharia

Lisboa

2014

BRUNO ALEXANDRE FILIPE DUARTE

**IMPORTÂNCIA DE COMPONENTES EM
SISTEMAS DE ÁGUAS RESIDUAIS E PLUVIAIS**

Dissertação apresentada para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil no curso de Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Construção e Hidráulica, conferido pela Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, no âmbito do protocolo entre o LNEC e a ULHT.

Orientadora: Doutora Maria do Céu de Sousa
Teixeira de Almeida

Coorientadora: Doutora Maria Adriana Canas
Mendes de Almeida Cardoso

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias
Faculdade de Engenharia

Lisboa
2014

“Se um dia a vida não te sorrir,

não fiques triste,

pois o sol nem sempre brilha mas EXISTE”

“In Memoriam”

À minha querida prima que estará sempre no meu coração, Ana Sílvia Oliveira Filipe.

AGRADECIMENTOS

A apresentação desta dissertação é realizada ao abrigo do Protocolo de Cooperação entre o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e a Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias (ULHT). Teve a orientação da Doutora Maria do Céu de Sousa Teixeira de Almeida, Investigadora Principal no Núcleo de Engenharia Sanitária (NES) do LNEC e da Doutora Maria Adriana Canas Mendes de Almeida Cardoso, Investigadora Auxiliar do NES. Para a elaboração da presente dissertação, tive o privilégio de contar com o apoio de diversas pessoas, as quais gostaria de salientar pelos seus contributos prestados:

- Em primeiro lugar, desejo expressar os meus agradecimentos à Dr.^a Maria do Céu Almeida e à Dr.^a Maria Adriana Cardoso pela disponibilidade, importantes sugestões e ideias prestadas para o desenvolvimento desta dissertação, e ainda pela leitura crítica e construtiva do original;
- Aos SIMAS O&A (Serviços Intermunicipalizados de Água e Saneamento de Oeiras e Amadora), em especial ao Eng.^o Paulo Camacho, pela contribuição e disponibilização dos dados;
- Ao meu amigo e Professor Doutor Manuel Fonseca (em memória), pelo incentivo e apoio prestado, e por me ter encaminhado para a elaboração desta dissertação no LNEC;
- Aos amigos e colegas do LNEC - NES, Paula Beceiro, Joana Costa, Tiago Mota, Marta Cabral, Aisha Mamade e David Figueiredo, pelos bons momentos de convívio e amizade, e terem-me incentivado desde o início. Um muito obrigado a todos os restantes elementos por proporcionarem momentos de confraternização e que estiveram sempre disponíveis para me ajudar em tudo o que fosse necessário;
- Aos meus colegas de curso (especialmente ao Roberto Pereira, Liliana Monteiro e Daniel Ferreira, por todo o companheirismo ao longo destes 5 anos e por todo o apoio que me deram;
- À minha namorada Filipa Silva, por estar sempre disponível para me apoiar nas alturas mais difíceis e por todos os bons momentos;
- À família (Pais, Avós, Irmãos, Tios, Tias e Primos), pelo apoio inexcedível e inequívoco prestado desde o início ao fim da realização desta dissertação, a qual lhes é dedicada na íntegra.

RESUMO

A presente dissertação tem como objetivo principal contribuir para a avaliação da importância de componentes (IC) em sistemas de águas residuais e pluviais. É um tema reconhecido internacionalmente e que tem ganho um interesse crescente pela sua relevância para a tomada de decisão das entidades gestoras no planeamento da reabilitação e gestão destes sistemas.

Propõe-se uma metodologia vocacionada para efetuar a avaliação dos componentes em função da sua importância no sistema global, que permite identificar os coletores cujo funcionamento tem maior importância para o desempenho desse sistema global. Com esta informação, as entidades gestoras poderão sustentar melhor as suas prioridades e opções de intervenção e assim alocar de forma mais eficiente os recursos humanos e financeiros na gestão técnica dos sistemas, minimizando as consequências indesejáveis do funcionamento deficiente dos sistemas.

Para avaliar a importância de componentes, recorreu-se à modelação matemática, com utilização do *software* SWMM – Storm Water Management Model, para estudar o comportamento hidráulico de sistemas, exportando os resultados de simulação, nomeadamente das variáveis, altura e velocidade de escoamento. Foi desenvolvida uma rotina para o processamento automático dos resultados de simulação e para o cálculo das métricas selecionadas para caracterizar a importância de componentes. Estas permitem avaliar o funcionamento dos sistemas face a diferentes níveis de sedimentação e fatores de carga. Os resultados da avaliação são inseridos num sistema de informação geográfica (SIG), permitindo a visualização detalhada dos resultados ao nível do coletor.

A verificação e o teste da metodologia foram aplicados com sucesso à bacia da Venteira, na Amadora, pertencente ao sistema gerido pelos SIMAS de Oeiras e Amadora. Os resultados permitem concluir a relevância da avaliação da importância de componentes para que as entidades gestoras possam sustentar as suas decisões de reabilitação e manutenção, contribuindo assim para um melhor cumprimento das metas de gestão técnica destas entidades.

Palavra-chave: sistemas de drenagem urbana, avaliação da importância de componentes, avaliação de desempenho, criticidade de componentes, apoio à decisão.

ABSTRACT

This dissertation aims to contribute to the assessment of the importance of components (IC) in wastewater and stormwater systems. This topic applicability is internationally recognized and has gained increasing interest due to its relevance to the decision making of water utilities of urban water systems for rehabilitation planning and overall systems management.

The proposed methodology for components importance assessment, is based on the relevance of an individual component and its objective is to identify which components are more important to the performance of the overall system. With this information the managers can better support their intervention priorities and options and more efficiently allocate human and financial resources in the systems' technical management while minimizing the undesirable consequences of poorly functioning systems.

Mathematical modeling was used to assess the importance of components, using the software SWMM – Storm Water Management Model, and to study the hydraulic behaviour of systems by exporting simulation results for the components including water depth and flow. A routine for the automatic processing of the simulation results and the calculation of selected metrics was developed. With these results, assessment of the systems' performance for different sedimentation levels and load factors was carried out. Results were imported into a geographic information system (GIS), allowing detailed visualization of the results at the sewer level.

The verification and testing methodology has been successfully applied to the catchment of Venteira, Amadora, within the area managed by SIMAS Oeiras and Amadora. Results indicate that the assessment of the components importance can be relevant to utilities to better decisions for rehabilitation and maintenance, therefore contributing to the achievement of the established technical management goals.

Key words: urban drainage systems, evaluating the importance of components, performance evaluation, critical analysis of components, decision support.

ABREVIATURAS E SIGLAS

AIC	Avaliação da Importância de Componentes
AWARE-P	Advanced Water Asset Rehabilitation (Portugal)
CCTV	Closed-Circuit Television
CIM	Composite Importance Measures
D.R.	Decreto Regulamentar
EN	Norma Europeia
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
FC	Fator de Carga
FV	Fussell–Veseley
GPI	Gestão Patrimonial de Infraestruturas
HII	Índice de Importância Hidráulica
IB	Importance Birnbaum
IC	Importância de Componentes
ID	Índices de Desempenho
IDs	Indicadores de Desempenho
ISO	International Organization for Standardization
IWA	International Water Association
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MSMC	Multi-state Systems with Multi-state Components
ND	Níveis de Desempenho
PDR	Plano de Desenvolvimento Regional
PEAASAR	Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais
PVC	Policloreto de Vinilo

QREN	Quadro de Referência Estratégico Nacional
RAW	Reliability Achievement Worth
RRW	Reliability Reduction Worth
SANEST	Saneamento da Costa do Estoril
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIMAS O&A	Serviços Intermunicipalizados de Água e Saneamento de Oeiras e Amadora
SIMTEJO	Saneamento Integrado dos Municípios do Tejo e Trancão
SWMM	Storm Water Management Model
ULHT	Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias
WEN	Indicadores de Desempenho Ambientais Neutros

ÍNDICE GERAL

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Contextualização e justificação do tema.....	1
1.2	Objetivos.....	3
1.3	Estrutura da dissertação	4
2	DESEMPENHO DE SISTEMAS PÚBLICOS DE ÁGUAS RESIDUAIS E PLUVIAIS....	5
2.1	Panorama em Portugal.....	5
2.2	Estrutura dos sistemas públicos de águas residuais e pluviais	8
2.3	Componentes dos sistemas de drenagem urbana.....	10
2.4	Deficiências em sistemas de coletores.....	13
2.4.1	Tipos principais de deficiências.....	13
2.4.2	Capacidade hidráulica insuficiente	16
2.4.3	Depósitos e sedimentação.....	17
2.4.4	Afluências indevidas.....	18
2.4.5	Descargas para o meio recetor	19
2.4.6	Septicidade.....	19
2.4.7	Exfiltração.....	20
2.5	Avaliação do desempenho	20
2.5.1	Medidas de desempenho.....	20
2.5.2	Indicadores de desempenho	24
2.5.3	Índices de desempenho	25
2.6	Principais aplicações computacionais para modelação matemática	28
2.7	Importância de componentes	28
2.7.1	Exemplos de metodologias utilizadas.....	32

3	METOLOGIA.....	36
3.1	Descrição geral da metodologia	36
3.2	Definição de objetivos de modelação	38
3.3	Programa de simulação SWMM.....	38
3.4	Construção, caracterização e modelação do sistema de drenagem.....	39
3.4.1	Construção e caracterização do sistema.....	40
3.4.2	Identificação de erros e lacunas	40
3.4.3	Cenários e níveis de sedimentação	40
3.4.4	Simulação de cenários	41
3.4.5	Exportação de resultados	42
3.5	Avaliação de desempenho e importância de componentes.....	43
3.5.1	Procedimento da avaliação	43
3.5.2	Avaliação de desempenho	44
3.5.3	Cálculo e interpretação dos índices de desempenho.....	48
3.5.4	Avaliação da importância de componentes	52
3.5.5	Identificação de componentes críticos do sistema	52
3.6	Representação em SIG.....	54
4	CASO DE ESTUDO – SIMAS DE OEIRAS E AMADORA.....	56
4.1	Descrição dos serviços.....	56
4.2	Descrição dos sistemas de águas residuais e pluviais.....	56
4.3	Seleção e descrição do caso de estudo.....	57
4.4	Modelação matemática da bacia da Venteira	58
4.5	Avaliação de desempenho	60
4.5.1	Fase 1 – Resultados para o cenário base	61
4.5.2	Fase 2 – Resultados para a situação mais desfavorável	65
4.5.3	Fase 3 – Resultados para a situação mais desfavorável ($f_c = 8$).....	70

4.5.4 Fase 4 – Avaliação da criticidade dos coletores	74
4.5.5 Fase 5 – Análise ao nível do componente.....	77
4.6 Representação em SIG.....	80
5 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	85
5.1 Considerações gerais	85
5.2 Novas contribuições	87
5.3 Desenvolvimentos futuros	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
APÊNDICE 1 – CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA SEPARATIVO DOMÉSTICO	I
APÊNDICE 2 – RESULTADOS DE SIMULAÇÃO.....	IVI
A1 Resultados para a situação mais desfavorável ($fc = 1$)	VII
A2 Resultados para a situação mais desfavorável ($fc = 2$)	XIV
A3 Resultados para a situação mais desfavorável ($fc = 4$)	XXII
A4 Resultados para a situação mais desfavorável ($fc = 16$)	XXIX
APÊNDICE 3 – IMPORTÂNCIA DE COMPONENTES	XXXVII
ANEXO 1 – INTERPRETAÇÃO DE GRÁFICOS DE SISTEMA	I

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Principais objetivos dos diferentes tipos de sistemas.....	8
Quadro 2 – Principais vantagens e inconvenientes dos diversos tipos de sistemas	9
Quadro 3 – Principais deficiências do funcionamento em sistemas de coletores	16
Quadro 4 – Exemplos de critérios de avaliação para diferentes categorias	21
Quadro 5 – Exemplos de medidas de desempenho e metas associadas aos critérios associados ao desempenho hidráulico.....	23
Quadro 6 – Classificação de importância de componentes.....	32
Quadro 7 – Objetivos relativos à avaliação da capacidade de escoamento e da condição de autolimpeza.	48
Quadro 8 – Extensão do tipo de coletores.....	56
Quadro 9 – Exemplos de soluções para melhorar a qualidade de serviço dos sistemas	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Infiltração.....	14
Figura 2 – Intrusão de lixo	14
Figura 3 – Inundação.....	14
Figura 4 – Ligação indevida.....	14
Figura 5 – Deslocamento de juntas com perda de estanquidade.....	14
Figura 6 – Intrusão de raízes	14
Figura 7 – Exfiltração.....	15
Figura 8 – Ovalização	15
Figura 9 – Corrosão acentuada com exposição de armadura	15
Figura 10 – Entrada em carga com extravasamento.....	15
Figura 11 – Rutura em juntas	15
Figura 12 – Fissuração longitudinal	15
Figura 13 – Colapso	15
Figura 14 – Descarga do sistema doméstico	15
Figura 15 – Estrutura da IC e dos IDs para águas residuais (Matos <i>et al.</i> , 2004)	25
Figura 16 – Exemplos de funções de desempenho.....	27
Figura 17 – Resposta à solicitação do consumo em função da perda de carga hidráulica	33
Figura 18 – Fluxograma da metodologia proposta.....	37
Figura 19 – Processo de modelação hidráulica com recurso a <i>software</i> SWMM	39
Figura 20 – Automatização do processo de modelação utilizando o SWMM	42
Figura 21 – Processo de avaliação de desempenho e da importância de componentes	43
Figura 22 – Função desempenho de altura de escoamento	45
Figura 23 – Função desempenho de velocidade de escoamento	46
Figura 24 – Função desempenho para avaliação do extravasamento.....	46
Figura 25 – Desempenho elementar e global do sistema	47

Figura 26 – Exemplo gráfico do desempenho de altura de escoamento	50
Figura 27 – Exemplo gráfico do desempenho de velocidade de escoamento	50
Figura 28 – Exemplo gráfico do extravasamento de escoamento	50
Figura 29 – Exemplo gráfico do desempenho para o cenário mais desfavorável	51
Figura 30 – Representação em SIG da importância de componentes num sistema de drenagem.	55
Figura 31 – Bacia da Venteira.....	57
Figura 32 – Distribuição de materiais por sistema	58
Figura 33 – Distribuição de diâmetros por sistema.....	58
Figura 34 – Planta do modelo do sistema de águas residuais domésticas da bacia da Venteira. ..	59
Figura 35 – Perfil longitudinal do modelo do sistema de águas residuais domésticas da bacia da Venteira.	59
Figura 36 – Hidrograma padrão de caudal médio de tempo seco	60
Figura 37 – Desempenho da altura de escoamento para o cenário base	62
Figura 38 – Extravasamento do sistema para o cenário base	62
Figura 39 – Desempenho da velocidade mínima de escoamento para o cenário base	63
Figura 40 – Desempenho da velocidade máxima de escoamento para o cenário base	63
Figura 41 – Desempenho da altura de escoamento para a situação mais desfavorável e diferentes níveis de sedimentação	65
Figura 42 – Desempenho da altura de escoamento para a situação mais desfavorável	66
Figura 43 – Extravasamento do sistema para a situação mais desfavorável e diferentes níveis de sedimentação	67
Figura 44 – Extravasamento do sistema para a situação mais desfavorável	67
Figura 45 – Desempenho da velocidade mínima de escoamento para a situação mais desfavorável e diferentes níveis de sedimentação	68
Figura 46 – Desempenho da velocidade mínima de escoamento para a situação mais desfavorável	68
Figura 47 – Desempenho da velocidade máxima de escoamento para a situação mais desfavorável e diferentes níveis de sedimentação	69

Figura 48 – Desempenho da velocidade máxima de escoamento para a situação mais desfavorável	69
Figura 49 – Desempenho da altura de escoamento para a situação mais desfavorável e um fator de carga 8	70
Figura 50 – Extravasamento do sistema para a situação mais desfavorável e um fator de carga 8	71
Figura 51 – Desempenho da velocidade mínima de escoamento para a situação mais desfavorável e um fator de carga 8	71
Figura 52 – Desempenho da velocidade máxima de escoamento para a situação mais desfavorável e um fator de carga 8	72
Figura 53 – Identificação de coletores críticos no sistema, avaliando o desempenho da altura de escoamento para um fator de carga 8 e diferentes níveis de sedimentação.....	74
Figura 54 – Identificação de coletores críticos no sistema, avaliando o desempenho da velocidade mínima de escoamento para um fator de carga 8 e diferentes níveis de sedimentação.....	74
Figura 55 – Identificação de coletores críticos no sistema, avaliando o desempenho da velocidade máxima de escoamento para um fator de carga 8 e diferentes níveis de sedimentação	75
Figura 56 – Identificação de coletores críticos no sistema que causam o extravasamento em câmaras de visita, para um fator de carga 8 e diferentes níveis de sedimentação	75
Figura 57 – Evento de tempo seco com base no desempenho da altura de escoamento, para um fator de carga 8 e um nível de sedimentação de 60%.....	78
Figura 58 – Evento de tempo seco com base no extravasamento do sistema, para um fator de carga 8 e um nível de sedimentação de 60%.....	78
Figura 59 – Evento de tempo seco com base no desempenho da velocidade de escoamento, para um fator de carga 8 e um nível de sedimentação de 60%	79
Figura 60 – Importância de componentes com base na avaliação da altura de escoamento, para um cenário de $fc = 8$ e um nível de sedimentação de 60%.....	81
Figura 61 – Importância relativa entre componentes com base na avaliação da altura de escoamento, para um cenário de $fc = 8$ e um nível de sedimentação de 60%.....	81
Figura 62 – Importância de componentes com base na avaliação do extravasamento de câmaras de visita, para um cenário de $fc = 8$ e um nível de sedimentação de 60%	82

Figura 63 – Importância de componentes com base na avaliação da velocidade mínima de escoamento, para um cenário de $fc = 8$ e um nível de sedimentação de 60%.....	82
Figura 64 – Importância relativa entre componentes com base na avaliação da velocidade mínima de escoamento, para um cenário de $fc = 8$ e um nível de sedimentação de 60%	83
Figura 65 – Importância de componentes com base na avaliação da velocidade máxima de escoamento, para um cenário de $fc = 8$ e um nível de sedimentação de 60%.....	83
Figura 66 – Importância relativa entre componentes com base na avaliação da velocidade máxima de escoamento, para um cenário de $fc = 8$ e um nível de sedimentação de 60%	84

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e justificação do tema

Os serviços urbanos de água são reconhecidos como indispensáveis para a saúde e segurança públicas, tendo-se observado nas últimas décadas o crescimento das exigências aos prestadores de serviços mas também da sua qualidade. Estes serviços, “materializados através dos serviços de abastecimento público de água às populações, de saneamento das águas residuais urbanas” (Batista *et al.*, 2013) e de gestão de águas pluviais, têm uma importância fundamental para o desenvolvimento das sociedades atuais.

Conforme o Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais 2007-2013 (PEAASAR II), os grandes objetivos para este setor são: a universalidade, a continuidade e a qualidade do serviço; a sustentabilidade do setor; a proteção dos valores de saúde pública e ambiental (MAOT, 2007). Atualmente observam-se níveis de atendimento elevados nos países desenvolvidos, sendo que Portugal atingiu, em 2011, valores de 95% para o abastecimento público de água e de 81% e 78% para o serviço de drenagem e tratamento das águas residuais, respetivamente (Batista *et al.*, 2013).

Em face destes desenvolvimentos, que se verificaram com maior intensidade nas últimas décadas, tem-se verificado uma transição do investimento significativo em construção de novos sistemas para a necessidade de adoção de abordagens para gestão deste património infraestrutural. A gestão patrimonial de infraestruturas (GPI) tem vindo a desenvolver-se gradualmente no seio das entidades gestoras, sendo reconhecida esta necessidade pelo Decreto-Lei n.º 194/2009, de 20 de agosto, que determina que as entidades gestoras dos serviços de águas devem dispor de informação sobre a situação atual e futura das infraestruturas, a sua caracterização e a avaliação do seu estado funcional e conservação. Ainda de acordo com este decreto, as entidades gestoras que sirvam mais de 30 mil habitantes devem promover e manter um sistema de gestão patrimonial de infraestruturas que, no essencial, corresponde à implementação de uma estratégia proactiva de reabilitação (Almeida e Cardoso, 2010).

A gestão patrimonial de infraestruturas (GPI) em sistemas urbanos de água é uma atividade internacionalmente reconhecida como essencial para atingir a sustentabilidade dos serviços urbanos de água, devendo ser garantidos requisitos mínimos de qualidade de serviço e de desempenho destes sistemas. Os serviços prestados dependem de infraestruturas físicas que

implicam elevados investimentos em construção e custos de manutenção significativos. A adequada manutenção destas infraestruturas é essencial para assegurar o bom desempenho e cumprir os objetivos deste setor. Adicionalmente, sendo infraestruturas essencialmente enterradas e dispersas espacialmente em zonas urbanas frequentemente intensamente urbanizadas, a natural deterioração da condição dos seus componentes não é facilmente avaliada e a sua falha pode ter consequências tanto para a continuidade das funções que são desempenhadas pelos componentes em questão, como para as pessoas, atividades económicas e outras infraestruturas e estruturas urbanas (Batista *et al.*, 2013).

Embora a vida útil dos componentes destes sistemas seja tendencialmente elevada, em virtude de estarem sujeitos a diferentes fatores que provocam a sua deterioração, tanto a avaliação do desempenho como a sua reabilitação implica frequentemente custos elevados. O capital disponível para investir na melhoria das redes de condutas ou coletores é, na maior parte dos casos, inferior ao desejável, daí ser de extrema importância assegurar que as decisões relativas a intervenções sejam as mais racionais, transparentes e que maximizem os benefícios a longo prazo (Almeida e Cardoso, 2010; Alegre, Coelho e Leitão, 2012).

A fiabilidade e as consequências da falha dos componentes dos sistemas urbanos de água são dois aspetos centrais nas abordagens de GPI. A fiabilidade de um sistema ou componente pode ser definida como a probabilidade de o mesmo funcionar num dado período de tempo de acordo com as especificações definidas para que foi concebido (Assis, 2010). Com o decorrer do tempo será expectável que aumente a probabilidade de cada componente falhar, reduzindo-se a fiabilidade global do sistema. Assim, é relevante avaliar não só a fiabilidade de cada componente mas também do sistema como um todo, e não como um mero somatório de componentes individuais (Alegre, Covas, Coelho, Almeida e Cardoso, 2011)

As entidades gestoras devem promover estratégias de manutenção e de reabilitação adequadas, desejavelmente suportadas por informação relevante sobre os mecanismos de falha potenciais em cada sistema e sobre as consequências da falha de cada componente. Entre as tipologias de falhas em sistemas urbanos de água, e em particular para os sistemas de águas residuais e pluviais, frequentemente distinguem-se as falhas associadas ao comportamento estrutural, hidráulico, ambiental e operacional destes sistemas (Almeida e Cardoso, 2010; Almeida e Leitão, 2010). Para cada tipo de falha, importa também avaliar o impacto no sistema como um todo, sendo este frequentemente elaborado através da designada análise da importância do componente, que é fundamental no processo de quantificação da fiabilidade do

sistema, permitindo identificar os componentes que mais influenciam o desempenho global do sistema (Barabady e Kumar, 2006).

A avaliação da importância de componentes é uma medida já implementada em diferentes áreas, como por exemplo em fiabilidade de sistemas de distribuição de energia (Setréus, 2011), otimização de manutenção de redes elétricas (Hilber, 2005), manutenção centrada na fiabilidade para otimizar a operação e manutenção de centrais nucleares (IAEA, 2008), sistemas de proteção digitais (Zhang, Portillo e Kezunovic, 2006), águas de abastecimento e águas residuais (Almeida e Cardoso, 2010; Matos *et al.*, 2010; Alegre *et al.*, 2011; Almeida e Leitão, 2010). Em sistemas de abastecimento de água já existem alguns estudos sobre a avaliação da importância dos componentes nestes sistemas (Almeida e Cardoso, 2010; Alegre *et al.*, 2011; Almeida e Leitão, 2010). Em sistemas de águas residuais os estudos são escassos embora tenham sido feitos alguns desenvolvimentos durante o projeto AWARE – Advanced Water Asset Rehabilitation (Almeida e Cardoso, 2010; Almeida e Leitão, 2010).

Em síntese, embora existam algumas abordagens e alternativas para avaliar a importância dos componentes em sistemas urbanos de água, esta é uma área ainda com desenvolvimentos incipientes, em particular para os sistemas de águas residuais. Embora se tenham identificado algumas aplicações da importância do componente através de métodos expeditos, por exemplo com recurso a diagramas em árvore (Almeida e Leitão, 2010), não se encontraram trabalhos publicados em que a avaliação da fiabilidade em sistemas de águas residuais seja feita de modo sistemático, nomeadamente com recurso à modelação matemática, para avaliação da importância dos componentes relativamente ao seu comportamento hidráulico.

1.2 Objetivos

Nesta dissertação pretende-se contribuir para o desenvolvimento de métodos e aplicações de novas tecnologias para apoio à gestão técnica de sistemas públicos de águas residuais e pluviais, numa perspetiva integrada, e que permita apoiar a decisão relativamente à gestão destes sistemas, promovendo uma atuação preventiva. Esta temática enquadra-se no desenvolvimento e aplicação de metodologias para melhorar o apoio à decisão na operação, manutenção ou reabilitação dos sistemas de drenagem urbanos.

Dado o interesse para a decisão informada na gestão de sistemas urbanos de água, do conhecimento da fiabilidade de cada sistema e, em particular, a classificação da importância do

componente para o funcionamento do sistema global, o objetivo geral da dissertação é o desenvolvimento de uma metodologia para avaliar a importância dos componentes na fiabilidade global dos sistemas relativamente ao funcionamento hidráulico global de sistemas de coletores, procedendo à sua verificação através da aplicação a um caso de estudo. Os objetivos específicos deste trabalho, que se refletem nas etapas da metodologia proposta, são os seguintes:

- Identificação das funções específicas que caracterizam o funcionamento hidráulico destes sistemas e modos de falha mais relevantes;
- Identificação de métricas e gamas de desempenho aceitável para cada função;
- Definição de indicadores de importância de componentes para sistemas de coletores adequados às funções definidas;
- Estabelecimento de metodologia para avaliação da importância de componentes para a função selecionada;
- Teste da metodologia em caso de estudo selecionado.

1.3 Estrutura da dissertação

Este trabalho desenvolve-se, para além deste primeiro capítulo, em mais quatro, que organizam a informação recolhida e as diferentes fases desenvolvidas e consideradas importantes e necessárias para elaboração deste trabalho. Após a introdução, no Capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica, abordando os sistemas de drenagem urbana, os principais métodos de avaliação de desempenho e importância de componentes. No Capítulo 3 propõe-se uma metodologia para avaliar a importância de componentes em sistemas de águas residuais e pluviais tendo por base o trabalho desenvolvido por Cardoso (2008). No Capítulo 4 descreve-se o caso de estudo e aplica-se a metodologia proposta. Faz-se uma breve descrição da sua aplicação e analisa-se os resultados obtidos, através de gráficos e quadros. No Capítulo 5 apresentam-se as conclusões do trabalho efetuado, recomendações relativas à aplicação do método proposto, bem como algumas sugestões para desenvolvimentos futuros.

2 DESEMPENHO DE SISTEMAS PÚBLICOS DE ÁGUAS RESIDUAIS E PLUVIAIS

2.1 Panorama em Portugal

Os sistemas públicos de águas residuais e pluviais são essenciais para assegurar não só a saúde e segurança do público mas também a continuidade das atividades socioeconómicas. Estas infraestruturas fazem parte de um conjunto de infraestruturas críticas necessárias à garantia da integridade física das propriedades urbanas e para evitar a perda de bens e vidas humanas (Matos, 2000; Cardoso, 2008).

Em Portugal, os primeiros elementos históricos existentes referentes à drenagem de águas residuais, que inicialmente destinavam-se à recolha e drenagem de águas pluviais, remontam ao século XV na cidade de Lisboa. Na época, o rei D. João II em consequência da peste, mandou proceder a ações de limpeza dos canais, devido à acumulação de todos os tipos de detritos e dejetos provocados pelo aglomerado populacional da cidade. Do século XVI até meados do século XVIII, altura do terramoto de 1755, o crescimento da população na capital levou ao agravamento dos problemas de inundações, higiene e limpeza da cidade, tal como se verificava em toda a Europa. Após o terramoto de 1755, existiu uma grande vontade e empenho para a reedificação da cidade de Lisboa, beneficiando assim a sua drenagem urbana com a implantação de redes de drenagem para o efeito. Hoje em dia, na zona antiga da cidade ainda é visível a utilização das redes construídas nesta época, onde perduram coletores unitários dispostos sob a forma de malha que fazem a ligação ao estuário do rio Tejo através dos arruamentos característicos da época pombalina (Soares e Antão, 2008; Cardoso, 2008).

O primeiro sistema separativo construído no país terá sido na cidade do Porto, projetado por ingleses nos anos trinta do século XX. Ainda nesta década, o município de Almada foi também submetido a processos de renovação, nomeadamente à implantação de coletores nas antigas valas existentes. A evolução da passagem do sistema de drenagem puramente pluvial para o sistema de drenagem conjunta das águas residuais domésticas e pluviais deu-se na mesma época por quase toda a Europa e América do Norte. Entre 1940 e 1950, durante o encargo político de Fontes Pereira de Melo foram executados vastas redes de coletores pluviais e unitários nos maiores aglomerados urbanos do país. Nessa época, com exceção da cidade do porto e núcleos urbanos vizinhos, e uma faixa litoral entre Estoril e

Cascais, o país ainda não dispunha de redes de drenagem separativas (Matos, 2000; Soares e Antão, 2008).

Mais tarde, entre 1950 e 1970, os sistemas existentes de drenagem unitária foram remodelados e complementados de acordo com os planos gerais de saneamento, e foram instalados novas redes de drenagem separativas. Nos casos como o Barreiro, Beja, Viseu, Tomar, Lisboa e Elvas, foram introduzidos descarregadores de tempestade e obras de desvio, promovendo à ligação aos coletores emissários dos sistemas separativos adjacentes, construídos nas áreas recentemente edificadas. Outras situações como Almada, Cova de Piedade, Costa da Caparica, Setúbal e Espinho foram sujeitas a projetos e construção de sistemas inteiramente separativos, face às antigas condições em que se encontravam e aos meios a que se propunham para fazer a limpeza (Matos, 2000; Cardoso, 2008).

Foi no final do século XX, década de oitenta e noventa, que o país começou verdadeiramente a dotar-se de infraestruturas de saneamento e tratamento de águas residuais, impulsionado pela publicação de várias Diretivas Comunitárias, em particular da Diretiva n.º 91/271/CEE, de 21 de Maio. Desde então, iniciou-se a construção de longos emissários ou intercetores, como exemplos o emissário de Leça, no Porto; os emissários do Vale do Ave; os intercetores da área de influência da Ria de Aveiro; os intercetores de S. João da Talha e de Beirolas, no concelho de Loures; os sistemas da frente Algés-Alcântara e Cais do Sodré-Alcântara, em Lisboa; e o intercetor da Costa do Estoril, que drena as águas residuais dos concelhos de Amadora, Sintra, Oeiras e Cascais (Matos, 2000; Soares e Antão, 2008).

Paralelamente, foi implementado em Portugal o Plano de Desenvolvimento Regional (PDR) 1994 - 1999 que teve como principal objetivo dotar o país de um conjunto de infraestruturas que lhe permitissem elevar os níveis de atendimento das populações e da qualidade do serviço de forma a colocar o país a par da média europeia em termos de saneamento de águas residuais. Tratou-se de uma meta muito ambiciosa, face aos meios financeiros do país, das condições precárias em que funcionavam os sistemas existentes, experiência e recursos técnicos disponíveis, e também aos níveis de atendimento que se verificavam em Portugal em 1994. Apesar de extremos esforços para se conseguir atingir esta meta preconizada no PDR e de se ter conseguido uma profunda transformação da situação do país, um aumento significativo da população servida por redes de saneamento e por estações de tratamento de águas residuais (ETAR), e na melhoria da qualidade do serviço prestado, não foi conseguido totalmente no período previsto inicialmente. Os objetivos enunciados no âmbito do

PDR 1994-1999 mantiveram-se para o período 2000-2006 e ficaram expressos num novo Plano Estratégico estabelecido para este setor, o Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais 2000-2006 (PEAASAR I), aprovado em 2000 (Soares e Antão, 2008).

O balanço do PEAASAR I demonstrou que, apesar dos progressos alcançados, existiam questões fundamentais por resolver, havendo a necessidade de reformular a estratégia. Realizou-se então uma nova reflexão sobre o setor, cujas orientações resultantes são materializadas do Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais 2007-2013 (PEAASAR II), que coincide com o período de implementação do Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN) que, por sua vez, enquadra a aplicação da política comunitária de coesão económica e social em Portugal no período de 2007-2013 (MAOT, 2007; Batista *et al.*, 2013).

A situação nacional evoluiu significativamente nos últimos anos, fruto de um esforço de investimento importante, tendo sido determinante o cofinanciamento por fundos comunitários. Verificou-se que a cobertura do serviço de abastecimento de água na época era de cerca de 80% e desde então atingiu os 95% em 2011. Em relação à qualidade da água, nos últimos anos a percentagem de água controlada e de boa qualidade tem vindo a crescer de uma forma contínua. Em 1993, apenas cerca de 50% da água poderia ser considerada segura, atualmente este indicador mantém-se próximo dos 98% (97,38% em 2010 e 97,75% em 2011), o que revela a consolidação da melhoria da qualidade da água. Relativamente à drenagem e tratamento de águas residuais, os serviços foram consideravelmente melhorados. Em termos de evolução, a cobertura do serviço de saneamento tem vindo a aumentar na última década, ainda que a um ritmo mais lento quando comparado com o abastecimento de água. A cobertura do serviço de drenagem de águas residuais e de tratamento de águas residuais era, em 2011, respetivamente de 81% e 78%, com disparidades significativas no país, estando ainda longe de ser concretizado o objetivo estabelecido no Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais 2007-2013 (PEAASAR II), para 2013, de dotar 90% da população com rede de drenagem e com tratamento de águas residuais (MAOT, 2007; Batista *et al.*, 2013).

2.2 Estrutura dos sistemas públicos de águas residuais e pluviais

Os sistemas de águas residuais e pluviais são compostos por um conjunto de equipamentos e instalações com funções que incluem a recolha, transporte, tratamento e rejeição das águas residuais e pluviais. O desempenho dos sistemas depende não só dos componentes individuais mas também do desempenho global como sistema (Almeida e Leitão, 2010).

Tradicionalmente consideraram-se três tipos de sistemas, essencialmente, sistemas unitários, sistemas separativos domésticos e sistemas separativos pluviais. Independentemente do sistema, o objetivo é assegurar que: as águas residuais domésticas, resultantes das necessidades humanas, por conterem quantidades apreciáveis de matéria orgânica, são objeto de tratamento adequado em ETAR; as águas pluviais são drenadas sem causar inundações ou outros danos; e que as águas residuais industriais, que derivam da atividade industrial e que se caracterizam pela diversidade dos compostos físicos e químicos dependentes do tipo de processamento industrial, são sujeitas ao tratamento necessário para serem lançadas nas redes públicas ou no meio receptor. Com estas funções pretende-se ainda reduzir ao mínimo a poluição dos meios recetores superficiais e subterrâneos. No Quadro 1 apresenta-se uma síntese dos objetivos associados a cada tipo de sistemas e no Quadro 2 as principais vantagens e desvantagens de cada tipo de sistema.

Quadro 1 – Principais objetivos dos diferentes tipos de sistemas

Sistema	Tipos	Breve descrição	Condições de escoamento
Separativo doméstico	Sistemas de coletores convencionais	Sistemas concebidos para fazer o transporte das águas residuais, comerciais e industriais até às estações de tratamento. Inevitavelmente, também afluem a estes coletores águas de infiltração e águas pluviais através de anomalias ou ligações indevidas.	Maioria dos coletores com escoamento em superfície livre; condutas elevatórias com escoamento em pressão.
	Sistemas de coletores de pequeno diâmetro em pressão	Sistemas em pressão usados quando se torna técnica e economicamente inviável ou desfavorável o recurso a soluções gravíticas de escoamento com superfície livre. Em sistemas simplificados (também designados por sistemas de águas residuais decantadas ou sistemas de coletores de pequeno diâmetro) é aceitável o transporte gravítico em pressão (Matos, 1991).	Escoamento em pressão, tipicamente a partir das caixas de ramal de ligação com recurso a tubagem de pequeno diâmetro.
	Sistemas de coletores de pequeno diâmetro em pressão (sob vácuo)	Nestes sistemas o transporte é bifásico (ar e água) é assegurado por condições de subpressão nos coletores. Esta solução é pouco usada sendo adotada, em regra, para águas residuais domésticas, não sendo normal ter contribuições pluviais e de infiltração (Matos, 1991).	Escoamento em pressão, com recurso a sistemas de drenagem por vácuo.

Quadro 1 (continuação) – Principais objetivos dos diferentes tipos de sistemas

Sistema	Tipos	Breve descrição	Condições de escoamento
Separativo pluvial	Sistemas de coletores convencionais	Sistemas onde são transportadas águas resultantes de precipitação nos pavimentos, cobertura de edifícios e áreas impermeabilizadas em meio urbano. Não é permitida a ligação de águas residuais domésticas embora existam frequentemente ligações indevidas (Matos, 1991).	Escoamento em superfície livre, excepcionalmente sob pressão.
Unitário	Sistemas de coletores convencionais	Neste tipo de sistemas, a totalidade das águas residuais e águas pluviais, é transportada pelo mesmo coletor. Atualmente não é regulamentar este tipo de solução para novos sistemas.	Escoamento em superfície livre, excepcionalmente sob pressão.
Pseudo-separativos	Sistemas de coletores não convencionais	Neste caso, admite-se excepcionalmente a ligação de águas pluviais a coletores domésticos devido a localmente não existirem condições para o escoamento gravítico para coletores pluviais. Atualmente não é regulamentar este tipo de solução para novos sistemas.	Escoamento em superfície livre, excepcionalmente sob pressão.

Quadro 2 – Principais vantagens e inconvenientes dos diversos tipos de sistemas

Tipo de sistema	Vantagens	Inconvenientes
Sistemas separativos domésticos e pluviais	▪ Transporte em separado de águas de natureza distinta. ▪ Possibilidade de diferentes condições de tratamento e destino final.	▪ Custos de primeiro investimento elevados, devido à necessidade de construir dois sistemas de coletores. ▪ Necessário assegurar que as ligações de ramais prediais são feitas ao coletor correspondente.
Sistemas unitários	▪ Construção de apenas um único sistema de coletores para a totalidade da água de meio urbano. ▪ Simplificado o projeto e a construção no que respeita a ligação de ramais aos coletores.	▪ Descarga de excedentes poluídos em tempo de chuva, com eventuais impactos negativos no ambiente. ▪ Acréscimo de encargos de energia e de exploração em instalações elevatórias e de tratamento, devido ao excedente de contribuição pluvial em tempo de chuva e diluição de águas residuais.
Sistemas não convencionais: coletores de pequeno diâmetro em pressão e por vácuo	▪ Transporte em zonas planas ou com elevados níveis freáticos. ▪ No caso dos sistemas por vácuo, redução do risco da ocorrência de condições de septicidade e controlo da infiltração.	▪ Custos de primeiro investimento elevados. ▪ Acréscimo nos encargos de exploração e conservação, em relação ao sistema gravítico convencional. ▪ No caso do sistema por vácuo, requer-se um grau de conhecimento e de especialização superior, para a exploração.

2.3 Componentes dos sistemas de drenagem urbana

Rede de coletores

A rede de coletores é constituída principalmente por tubagens e câmaras de visita, geralmente enterradas, e tem como finalidade a condução de águas residuais domésticas, industriais ou pluviais, provenientes das edificações e via pública a um destino adequado. Segundo a legislação portuguesa em vigor, Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto, consideram-se coletores visitáveis os que têm uma altura interior igual ou superior a 1,6 m. Podem ser fabricados de diferentes materiais, (*e.g.*, betão, PVC, fibrocimento, etc.), podem ter várias formas de secção transversal, nunca se deve reduzir o seu diâmetro para jusante e o diâmetro mínimo exigido regulamentarmente é de 200 mm.

As câmaras de visita são componentes das redes de coletores que têm como objetivo minimizar as perturbações do escoamento nos coletores e facilitar as operações de manutenção dos sistemas. Segundo o D.R. n.º 23/95, de 23 de Agosto, as câmaras de visita devem de ser colocadas no início de cada troço e onde existem mudanças de diâmetro, direção e inclinação de coletores, quedas guiadas de caudal, confluência de coletores e nos alinhamentos retos, com afastamento máximo de 60 m e 100 m, conforme se trate de coletores visitáveis ou não visitáveis. Devem ter dimensões para permitir o acesso de pessoas e equipamentos para observação e operações de manutenção. São regra geral de betão simples, podendo ser de betão armado no caso das peças mais esbeltas ou quando se pretenda diminuir a sua fragilidade.

Ramal de ligação

É um componente da rede geralmente enterrado e tem como finalidade assegurar a condução das águas residuais domésticas, industriais ou pluviais desde a sua origem até à rede pública. O diâmetro mínimo exigido segundo o regulamento em vigor é de 125 mm.

Câmaras de corrente de varrer

As câmaras de corrente de varrer são componentes que têm como finalidade promover a limpeza dos coletores, quando não é possível assegurar condições de autolimpeza. Em geral, a instalação destes dispositivos é prevista nos coletores de cabeceira e nos coletores a montante de redes unitárias ou de redes separativas domésticas, onde as condições de autolimpeza poderão ser difíceis de garantir. São pouco utilizadas nos sistemas em Portugal. Quanto ao funcionamento, há essencialmente dois tipos de câmaras de corrente de varrer: as manuais e as

automáticas. As manuais correspondem a uma câmara de visita normal, dotada de uma comporta ou comportas manobradas manualmente, o que permite isolar a câmara de visita do coletor a que ela está ligado e proceder ao seu enchimento com água através de uma válvula acionada manualmente ou por meio de mangueira. Posteriormente será aberta a comporta para fazer a limpeza dos coletores a jusante.

As automáticas distinguem-se das manuais por disporem de um sifão na soleira da câmara de visita, o que permite proceder à descarga automática da água acumulada na câmara com uma determinada frequência, a partir de uma alimentação contínua e regulável de água. Por razões sanitárias associadas essencialmente a problemas de saúde pública resultantes de riscos de contaminação é recomendável que as câmaras sejam manuais e não automáticas (Sousa, 2001; Matos e Matos, 2002).

Sarjetas e sumidouros

As sarjetas e os sumidouros de acordo com a legislação portuguesa em vigor, D.R. n.º 23/95, de 23 de Agosto, artigo 163º, são órgãos dos sistemas de drenagem que garantem a recolha de águas superficiais para as redes de drenagem para permitir um melhor escoamento da via pública. Os sumidouros são dispositivos com entrada superior, protegidas geralmente por uma grade metálica que evita a passagem de objetos que a possam obstruir e sem que prejudique a circulação rodoviária. Normalmente são implantados no pavimento da via pública. As sarjetas são dispositivos com entrada lateral e podem ou não ser sifonadas caso se trate de um sistema de drenagem separativo ou não, para impedir a saída dos gases para o exterior, sendo normalmente instaladas no passeio da via pública (Sousa, 2001).

Instalações elevatórias

Quando não é possível a afluência gravítica da água residual devido a desníveis desfavoráveis, recorre-se ao uso de instalações elevatórias. Uma instalação elevatória é um componente que requer uma manutenção continuada para ter uma fiabilidade aceitável, devendo por isso ser adotados critérios adequados na localização, conceção, dimensionamento e construção e na escolha dos equipamentos. Dadas as características das águas residuais, é necessário proceder ao tratamento preliminar através de desarenadores, grades, ou outros meios de remoção de materiais sólidos, para que o seu funcionamento continuado seja assegurado com eficiência (Sousa e Matos, 1991).

Descarregadores

Os descarregadores são utilizados especialmente em sistemas de unitários ou pseudo-separativos. No entanto, em virtude de existirem frequentemente ligações indevidas aos sistemas separativos, são também utilizadas nestes, quer para direcionar para a estação de tratamento caudais de águas residuais existentes em tempo seco em coletores pluviais, quer para descarregar para meios hídricos ou outros sistemas aflúências em excesso a sistemas separativos domésticos. Também podem ser colocados a montante de estações de tratamento ou de instalações elevatórias para garantir que não afluem, a estas instalações caudais superiores aos do seu dimensionamento (Sousa e Matos, 1991).

Bacias de retenção

As bacias de retenção são estruturas que se destinam a regularizar o escoamento pluvial afluente, amortecendo os caudais de ponta através de armazenamento por um período de tempo limitado. De acordo com a legislação portuguesa em vigor, D.R. n.º 23/95, de 23 de Agosto, artigo 176º, as bacias de retenção podem ainda contribuir para: a melhoria da qualidade das águas pluviais; um melhor comportamento do sistema de drenagem global onde se encontram integradas, quando da ocorrência de precipitações excecionais; constituir polos de interesse turístico e recreativo quando se trate de bacias de água permanente, especialmente quando integradas no tecido urbano ou em zonas verdes; constituir reservas contra incêndios ou para fins de rega (Sousa, 2001).

Medidores e registadores

Estes dispositivos devem ser localizados em locais estratégicos dos sistemas definidos de acordo os objetivos da entidade gestora e exigências legais. Locais onde o D.R. n.º 23/95, de 23 de Agosto, artigo 186º indica que devem ser previstas condições de medição incluem: à entrada das estações de tratamento; na descarga final no meio recetor; nas estações elevatórias; imediatamente a jusante de zonas ou instalações industriais e em pontos estratégicos da rede de coletores.

Desarenadores

Os desarenadores, também chamados câmaras de retenção de areias, destinam-se a reter quaisquer detritos sedimentáveis, sendo a sua utilização recomendada para em redes unitárias ou separativas de águas pluviais, podendo também ser implantados a montante de

estações de tratamento e de instalações elevatórias, conforme indicado no D.R. n.º 23/95, de 23 de Agosto, artigo 184º (Sousa, 2001).

Câmaras de grades

Segundo o D.R. n.º 23/95, de 23 de Agosto, artigo 185º, as câmaras de grades destinam-se a reter sólidos grosseiros em suspensão e corpos flutuantes, a fim de proteger de eventuais obstruções os coletores, válvulas e outros equipamentos situados a jusante.

2.4 Deficiências em sistemas de coletores

2.4.1 Tipos principais de deficiências

Os sistemas de coletores são projetados e dimensionados de acordo com critérios que pressupõem determinadas condições de funcionamento que nem sempre ocorrem quando em operação. Tal acontece devido à reduzida informação habitualmente disponível e da incerteza associada ao desenvolvimento ao longo do tempo das zonas urbanas. Para além dos critérios de projeto, que podem resultar em consequências negativas no seu funcionamento se forem desadequados, os condicionamentos à execução do projeto podem exigir alterações ao projeto, a deficiente qualidade da construção e estratégias de operação desadequadas podem também resultar em deficiências no comportamento dos sistemas (Cardoso, 2008; Almeida e Cardoso, 2010). Uma vez em funcionamento, o sistema está sujeito a diversos fatores causadores de degradação ao longo do tempo, com impacto potencial no desempenho estrutural, hidráulico e ambiental, como se ilustram nas Figuras 1 à 14 e no Quadro 3 (Almeida e Cardoso, 2010).

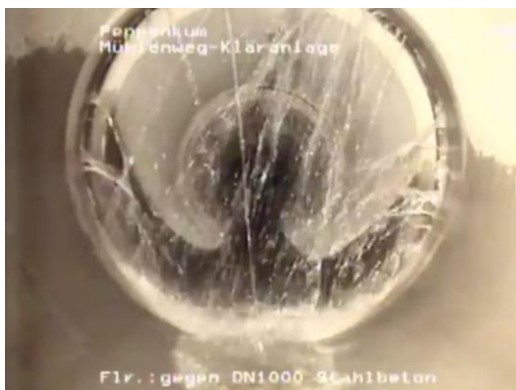


Figura 1 – Infiltração (Manvias Condutas, 2014)



Figura 2 – Intrusão de lixo



Figura 3 – Inundação (Henrique, 2013)



Figura 4 – Ligação indevida (Manvias Condutas, 2014)

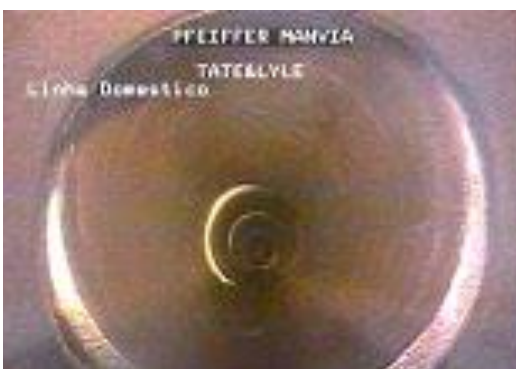


Figura 5 – Deslocamento de juntas com perda de estanquidade (Manvias Condutas, 2014)

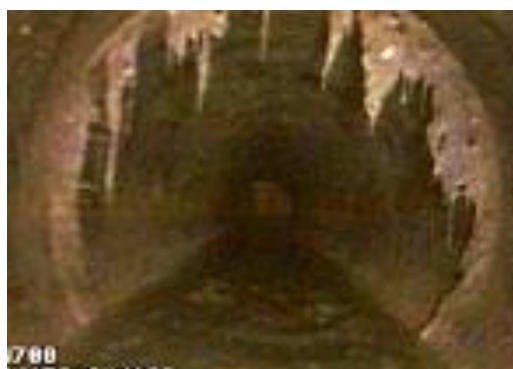


Figura 6 – Intrusão de raízes (Manvias Condutas, 2014)



Figura 7 – Exfiltração



Figura 8 – Ovalização



Figura 9 – Corrosão acentuada com exposição de armadura (Manvias Condutas, 2014)



Figura 10 – Entrada em carga com extravasamento (RBA, 2014)



Figura 11 – Rutura em juntas (Manvias Condutas, 2014)



Figura 12 – Fissuração longitudinal (Manvias Condutas, 2014)



Figura 13 – Colapso (Visão, 2014)



Figura 14 – Descarga do sistema doméstico

Quadro 3 – Principais deficiências do funcionamento em sistemas de coletores (Cardoso, 2008)

Domínio	Deficiência	Efeitos principais
Hidráulico	▪ Capacidade hidráulica insuficiente.	▪ Entrada em carga de coletores; ▪ Inundação; ▪ Descarga para o meio recetor.
	▪ Acumulação de sedimentos.	
	▪ Afluências indevidas.	▪ Infiltração; ▪ Ligações indevidas de origem pluvial à rede doméstica.
Ambiental e de qualidade da água	▪ Descargas para o meio recetor.	▪ Descargas diretas para o meio recetor provenientes de excedentes de sistemas unitários por ocorrência de precipitação; ▪ Descargas diretas para o meio recetor provenientes de sistemas separativos pluviais com impacto negativo no meio recetor (escorrências pluviais com cargas poluentes e ligações indevidas de origem doméstica à rede pluvial); ▪ Descargas de águas residuais brutas ou não convenientemente tratadas para os meios recetores (ETAR e ligações indevidas de origem pluvial à rede doméstica).
	▪ Fugas de água residual para o solo; ▪ Septicidade.	
Estrutural	▪ Assentamento dos coletores, deformação, abatimento de soleira; ▪ Perda de material, fissuras, fendas, brechas, fraturas; ▪ Ligações indevidas ou defeituosas; ▪ Colapso; ▪ Corrosão; ▪ Material defeituoso, superfície danificada.	

2.4.2 Capacidade hidráulica insuficiente

Existem inúmeros fatores que resultam em deficiências associadas à capacidade hidráulica dos sistemas de drenagem urbana e que comprometem o seu bom funcionamento, nomeadamente: o aumento de caudais provenientes de afluências indevidas (*e.g.*, infiltrações da água do solo através de fendas ou juntas dos coletores e de câmaras de visita), ligações indevidas da rede pluvial às redes domésticas, redução da capacidade de vazão devido a obstruções e sedimentação (*e.g.*, deposição de sólidos, acumulação de gorduras e intrusão de raízes, intrusão de ramais) e alteração das propriedades dos coletores (*e.g.*, aumento da rugosidade do material, a sua degradação e deformação da seção transversal (Almeida e Cardoso, 2010)).

Como consequência da capacidade hidráulica insuficiente, os sistemas apresentam níveis de desempenho inferiores aos desejáveis podendo ocorrer a entrada em carga dos coletores, o extravasamento para o meio exterior que provoca a inundação do meio onde se insere ou descargas, com impactos socioeconómicos, tais como a poluição causada e custos derivados dos danos materiais, pessoais e perturbações nos acessos e no tráfego (Cardoso, 2008).

2.4.3 Depósitos e sedimentação

A acumulação de sedimentos está normalmente associada a material sólido oriundo de duas grandes origens principais, uma proveniente dos sumidouros e sarjetas que constituem a massa estável dos depósitos, com granulometrias superiores e essencialmente minerais; e outra das águas residuais domésticas, com características predominantemente orgânicas e rapidamente biodegradáveis. Os depósitos podem estar associados a instalações comerciais ou industriais onde sejam rejeitadas grandes quantidades de gordura. Esta acumulação é mais propícia em condições de tempo seco e em troços: onde os declives dos coletores são baixos ou sobredimensionados, o que provoca a redução da capacidade de transporte; de cabeceira; onde ocorre a alteração das condições hidráulicas, como sejam, zonas da rede com condições estruturais deficientes e ligações indevidas que permitem a entrada de lixo no sistema; a montante de confluências, onde existam obstáculos e em estações elevatórias.

A acumulação depósitos e de sedimentos podem ter grande impacto em diferentes vertentes, nomeadamente (Cardoso, 2008):

- Ambiental – aumento do volume de descargas não tratadas, por insuficiente capacidade hidráulica e aumento das cargas poluentes veiculadas pelas descargas para o meio recetor;
- Hidráulico – insuficiente capacidade de vazão resultante de processo que incluem obstruções em coletores e alteração da rugosidade dos materiais, provocando inundações, descargas e entrada em carga dos coletores;
- Estrutural – aumento da deterioração dos materiais por efeito do desgaste por erosão ou corrosão;
- Socioeconómico – presença de odores e formação de gases nocivos para a saúde pública (*e.g.*, gás sulfídrico e metano) e consequentemente para os operadores de

manutenção, elevados custos de operação, manutenção e limpeza dos coletores e estruturas de armazenamento.

2.4.4 Afluências indevidas

A manutenção dos caudais de afluências indevidas em valores baixos é um fator decisivo para garantir um bom desempenho da rede de águas residuais pluviais e domésticas. No entanto, é frequente que as entidades gestoras sejam confrontadas com caudais demasiado elevados, sendo que as ações corretivas implicam normalmente grandes investimentos, e consequentemente os níveis de desempenho mantêm-se longe do desejável. Em geral, os sistemas unitários e os sistemas separativos, domésticos e pluviais, estão sujeitos a diferentes afluências indevidas, nomeadamente (Cardoso, 2008):

- Afluências pluviais diretas, consequência da ligação indevida de ramais pluviais de edificações e outras instalações, ligações de ramais de sumidouros e coletores pluviais à rede doméstica, e todos os componentes do sistema que não sejam estanques (*e.g.*, tampas de câmaras de visita);
- Afluências pluviais retardadas ou de águas subterrâneas, consequência da infiltração através do solo e das anomalias dos componentes (*e.g.*, juntas e fissuras nos coletores e câmaras de visita);
- Afluências de águas residuais domésticas a sistemas pluviais, com características impróprias ou não autorizadas para a rede e ligações indevidas de coletores ou ramais;
- Afluências de águas residuais industriais com características impróprias ou não autorizadas para as redes de águas residuais e pluviais em resultado de ligações indevidas de coletores ou ramais das indústrias.

Apesar deste tipo de anomalias continuar a existir nos sistemas e de estes caudais serem contabilizados em projeto, de facto, conduzem à sobrecarga dos coletores e consequentemente à sua degradação estrutural, a reduções de desempenho hidráulico e ambiental, tais como inundações, descargas não tratadas, aumento de caudal afluyente à estação de tratamento implicando, assim, um aumento significativo dos custos de operação, exploração e da redução da eficiência no seu tratamento (Almeida e Cardoso, 2010).

2.4.5 Descargas para o meio recetor

A contaminação das águas superficiais e subterrâneas por descargas de águas residuais domésticas e unitárias não é justificável, não só por questões de ética ambiental e do quadro legal, mas também pela diversidade de tecnologias disponíveis para o tratamento de águas residuais. Deste modo, deverá ter-se em consideração a necessidade de reduzir ou eliminar estas descargas para uma correta gestão dos recursos hídricos. As descargas para o meio recetor existem geralmente quando ocorre precipitação excessiva, e pelas causas já anteriormente apresentadas, em sistemas unitários, em sistemas separativos pluviais e quando se verificam descargas de águas residuais brutas ou que não se encontrem devidamente tratadas (Cardoso, 2008). O atual quadro legal relativo ao tratamento de águas residuais urbanas e à descarga de águas residuais encontram-se instituídos pela Diretiva n.º 91/271/CEE, do Conselho, de 21 de Maio e pelo Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto, que estabelecem normas, critérios e objetivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio ambiente e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos.

2.4.6 Septicidade

Nos sistemas de drenagem urbana ocorrem frequentemente compostos químicos particularmente agressivos para os materiais e perigosos para as pessoas, dos quais se destacam o sulfureto de hidrogénio e o ácido sulfídrico. Estes compostos químicos podem assim ter um impacto negativo para a saúde pública, para o meio ambiente, e para os componentes dos sistemas em termos estruturais. O aparecimento de maus odores, a possibilidade da formação de ambientes letais e explosivos na atmosfera dos coletores e espaços vizinhos confinantes, a corrosão dos coletores, câmaras de visita, equipamentos acessórios, órgãos de instalações de tratamento e perturbações no funcionamento da ETAR, causado pela alteração química das características do caudal para tratamento são todas associadas à ocorrência de condições de anaerobiose. A formação destes compostos dependem essencialmente da disponibilidade da matéria orgânica e de sulfatos, da temperatura a que está sujeita, do pH, da velocidade média do escoamento, do tempo do percurso, da concentração de oxigénio dissolvido e do potencial redox da massa líquida (Matos, 1991).

2.4.7 Exfiltração

A exfiltração ocorre nos sistemas de coletores através de anomalias que reduzem a estanquidade dos componentes. Consiste na ocorrência de fugas de água residual não tratada para o meio exterior, através de fraturas ou fissuras nos coletores, de juntas e de ligação de ramais a coletores e câmaras de visita deficientes. Este processo é o inverso da infiltração, descrito em 2.4.4 e está associada ao mesmo tipo de anomalias que a infiltração. A exfiltração está dependente de vários fatores, tais como, nível freático; material; altura do escoamento; número e dimensões das anomalias dos coletores; número de juntas; câmaras de visita e ligações domésticas; tipo de solo circundante ao coletor e por fim da existência de sedimentos no coletor que podem ter a função de reduzir esta exfiltração. Este fenómeno tem certamente impactos negativos sob o ponto de vista ambiental, visto conter elevados concentrações de poluentes que conduzem à contaminação do solo e das águas subterrâneas (Almeida e Cardoso, 2010).

2.5 Avaliação do desempenho

2.5.1 Medidas de desempenho

Em sistemas de drenagem urbana, a avaliação de desempenho é um instrumento de gestão de utilização crescente e cada vez mais útil na gestão patrimonial destas infraestruturas, em particular na reabilitação, operação e manutenção destes sistemas. Segundo Almeida e Cardoso (2010) e U.S. Department of Energy (PBM SIG, 1995), as medidas de desempenho são variáveis específicas que permitem caracterizar o desempenho de forma quantitativa ou qualitativa, que traduz um determinado efeito de funcionamento dum sistema ou organização, e que corresponde a uma unidade de desempenho que pode ser medido (*e.g.*, indicar o número total de coletores que estão obstruídos numa rede de drenagem). Geralmente, as medidas de desempenho são agrupadas em três categorias (Alegre, 2007): indicadores de desempenho (IDs), índices de desempenho (ID) e níveis de desempenho (ND),

Estas medidas permitem assim quantificar de uma forma objetiva as potencialidades e as deficiências dos sistemas, para que se possam prevenir possíveis falhas de funcionamento e a adoção de medidas preventivas e corretivas de reabilitação ou manutenção, para além das de operação, tendo sempre em consideração as prioridades de investimentos de cada entidade gestora. Deste modo, o recurso a medidas de desempenho, permitem uma monitorização mais detalhada dos objetivos e metas a atingir, assim como todos os processos ligados à avaliação

do desempenho e alternativas de intervenção para melhorar o funcionamento das redes existentes (Matos, 2000; Almeida e Cardoso, 2010).

Em casos particulares, é fundamental para as entidades gestoras que sejam definidos objetivos específicos e mais detalhados. Para isso, é essencial analisar critérios de avaliação, como os indicados no Quadro 4 (*e.g.*, o desempenho hidráulico, o desempenho ambiental, a condição estrutural, o desempenho socioeconómico e a qualidade de serviço). No Quadro 5 apresentam-se exemplos de medidas de desempenho e de metas para os diferentes critérios de avaliação. Estas medidas são um elemento importante e, quando devidamente utilizadas, contribuem para avaliar o cumprimento de objetivos, a deteção e correção de problemas, a gestão, a melhoria e a descrição dos processos, a quantificação da eficácia e da eficiência dos programas, a documentação e apoio à decisão e a quantificação do progresso. As medidas de desempenho permitem uma melhor análise da informação que se pretende selecionar e medir, para que se possa avaliar o processo corretamente, permite efetuar uma ação corretiva sobre os resultados e obter previsões fiáveis dos efeitos das alterações a implementar. Estas medidas devem estar sempre correlacionadas com os resultados, de forma a permitir uma melhoria no desempenho (Cardoso, 2008).

Quadro 4 – Exemplos de critérios de avaliação para diferentes categorias (Almeida e Cardoso, 2010)

Categoria	Critérios de Avaliação
Desempenho hidráulico	• Capacidade de escoamento: suficiência dos componentes ou sistemas para transporte dos caudais afluentes, dentro dos limites estabelecidos; • Capacidade de transporte de material sólido: suficiência dos componentes ou sistemas para transporte do material sólido afluente, dentro dos limites estabelecidos; • Potencial de desgaste dos materiais pelo escoamento ou agressividade do escoamento: potencial que o escoamento apresenta para desgaste dos materiais, por acção mecânica, química ou conjunta; • Agressividade da atmosfera: potencial para ocorrência de condições agressivas para os materiais na atmosfera interior dos componentes dos sistemas de coletores; • Estanquidade: capacidade dos componentes de impedir a entrada de água do exterior (infiltração) ou saída da água residual através das paredes ou juntas (exfiltração); • Afluências indevidas: magnitude de afluências não desejáveis ao componente ou sistema de coletores.

Quadro 4 (continuação) – Exemplos de critérios de avaliação para diferentes categorias (Almeida e Cardoso, 2010)

Categoria	Critérios de Avaliação
Desempenho ambiental	• Descargas de caudais sem tratamento adequado: magnitude da rejeição de caudais sem tratamento adequado, em meios hídricos ou solos, a partir dos componentes ou sistemas de águas residuais ou pluviais, de acordo com os limites estabelecidos; • Exfiltração: magnitude das perdas de caudal de água residual a partir dos componentes dos sistemas de águas residuais, para meios hídricos ou solos; • Uso eficiente da água: eficiência no uso da água na operação e manutenção dos sistemas de águas residuais e pluviais, por exemplo, na limpeza de coletores e nas ETAR; • Uso eficiente de energia: eficiência no uso da energia na operação dos sistemas de águas residuais e pluviais, por exemplo, nas instalações elevatórias e nas ETAR; • Destino adequado de resíduos sólidos: grau de adequação do destino de resíduos sólidos gerados na exploração dos sistemas de águas residuais e pluviais, por exemplo, lamas de ETAR e sedimentos resultantes de operações de limpeza dos coletores, nos termos previstos na legislação aplicável.
Condição estrutural	• Integridade estrutural: suficiência dos componentes ou sistemas para assegurar a integridade estrutural durante a sua vida útil.
Desempenho socioeconómico	• Perturbação da qualidade de vida das populações: nível de ocorrências com impacto negativo na qualidade de vida das populações, por exemplo, ocorrências de odores, ruído, inundações ou interrupções do tráfego; • Perigo para a segurança das populações: nível de ocorrências que possam constituir perigo para as populações, por exemplo, ocorrências de colapsos, emissão de gases tóxicos, inundações ou contaminação dos meios recetores; • Impacto negativo nas actividades económicas: nível de ocorrências que possam ter impacto negativo em termos de perdas económicas para as actividades comerciais, por exemplo, interrupções do tráfego, inundações ou ruído; • Sustentabilidade do serviço a médio e longo prazo: impacto económico do desempenho inadequado dos sistemas, por exemplo, custos acrescidos de operação, de reabilitação e de manutenção, incluindo coimas ou indemnizações.
Qualidade de serviço	• Qualidade do serviço prestado aos utilizadores: nível de qualidade do serviço prestado pela entidade gestora, por exemplo, em termos da não ocorrência de situações com impacto negativo para os utilizadores; • Continuidade do serviço: nível de ocorrências que resultem na interrupção do serviço, por exemplo, das estações elevatórias e ETAR.

Critério de avaliação: Capacidade de escoamento	
Medida de desempenho: Altura do escoamento (m)	Meta
Altura do escoamento numa secção representativa do coletor; h – altura do coletor Nota: ao nível tático importa trabalhar com as funções de generalização para o sistema ou subsistema. Meta variável com tipo de sistema, aqui separativo domestico com diâmetro > 500 mm.	< 0,75 *h
Critério de avaliação: Capacidade de transporte de material solido	
Medida de desempenho: Velocidade média do escoamento (m/s)	Meta
Velocidade média do escoamento no coletor Nota: ao nível tático importa trabalhar com as funções de generalização para o sistema ou subsistema. Meta variável com tipo de sistema, aqui separativo domestico.	> 0,6
Critério de avaliação: Potencial de desgaste dos materiais pelo escoamento ou agressividade do escoamento	
Medida de desempenho: Velocidade média do escoamento (m/s)	Meta
Velocidade média do escoamento no coletor Nota: ao nível tático importa trabalhar com as funções de generalização para o sistema ou subsistema. Meta variável com tipo de sistema, aqui separativo pluvial ou unitário.	< 5
Critério de avaliação: Agressividade da atmosfera	
Medida de desempenho: Z_p – Septicidade (-)	Meta
Valor do parâmetro de Pomeroy, $Z_p = (0,305 \cdot C_{CB05} \cdot 1,07^{(T-20)}) / (Q^{1/3} \cdot J^{1/2} \cdot f)$ (ver Cardoso, 2008)	< 5 000
Critério de avaliação: Estanquidade	
Medida de desempenho: Utilização da capacidade da secção cheia por infiltração (%)	Meta
Utilização da capacidade da secção cheia do coletor pelo valor do caudal mínimo diário de tempo seco.	< 25
Critério de avaliação: Afluências indevidas	
Medida de desempenho: Utilização da capacidade da secção cheia por ligações indevidas (%)	Meta
Utilização da capacidade da secção cheia do coletor pelo valor do caudal máximo com ocorrência de precipitação.	< 75

2.5.2 Indicadores de desempenho (IDs)

Os indicadores de desempenho (IDs) são elementos fundamentais para avaliar a eficiência e a eficácia de uma organização ou sistema.

Segundo Alegre, Matos, Neves, Cardoso e Duarte (2013), um indicador de desempenho é uma medida de avaliação quantitativa da eficiência ou da eficácia de um elemento do serviço prestado pela entidade gestora. A eficiência mede até que ponto os recursos disponíveis são utilizados de modo otimizado para a produção do serviço. A eficácia mede até que ponto os objetivos de gestão, definidos específica e realisticamente, são cumpridos.

Um dos principais sistemas de indicadores que se destaca a nível mundial e nacional são respetivamente os publicados pela International Water Association (IWA) e a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), cujos princípios gerais foram adotados nas normas ISO 24510:2007(E) e ISO 24511:2007(E). Nestes indicadores, toda a informação é detalhadamente definida e organizada para que todos os utilizadores, particularmente as entidades gestoras, possam satisfazer as suas necessidades face a uma situação de reabilitação e manutenção dos seus sistemas de águas residuais e pluviais (Almeida e Cardoso, 2010)

As entidades gestoras devem selecionar o subconjunto relevante de IDs em função dos objetivos da avaliação. Cada indicador de desempenho deve contribuir para expressar o nível do desempenho real conseguido numa dada área e durante um dado período de tempo, permitindo uma comparação clara com objetivos a alcançar e simplificando uma análise, de outro modo, complexa. Segundo a ERSAR, o sistema de IDs está estruturado em seis categorias de desempenho, como se ilustra na Figura 15. Para ser feita uma adequada interpretação do desempenho, a entidade gestora deve ter em consideração o contexto em que opera, as características dos sistemas de infraestruturas e de recursos, e as características da região onde os serviços são prestados (Matos *et al.*, 2004). Desta forma, a estrutura do sistema de IDs indica-nos um conjunto de informações que incluem o perfil da entidade gestora, do sistema e da região, conforme ilustrado na Figura 15.

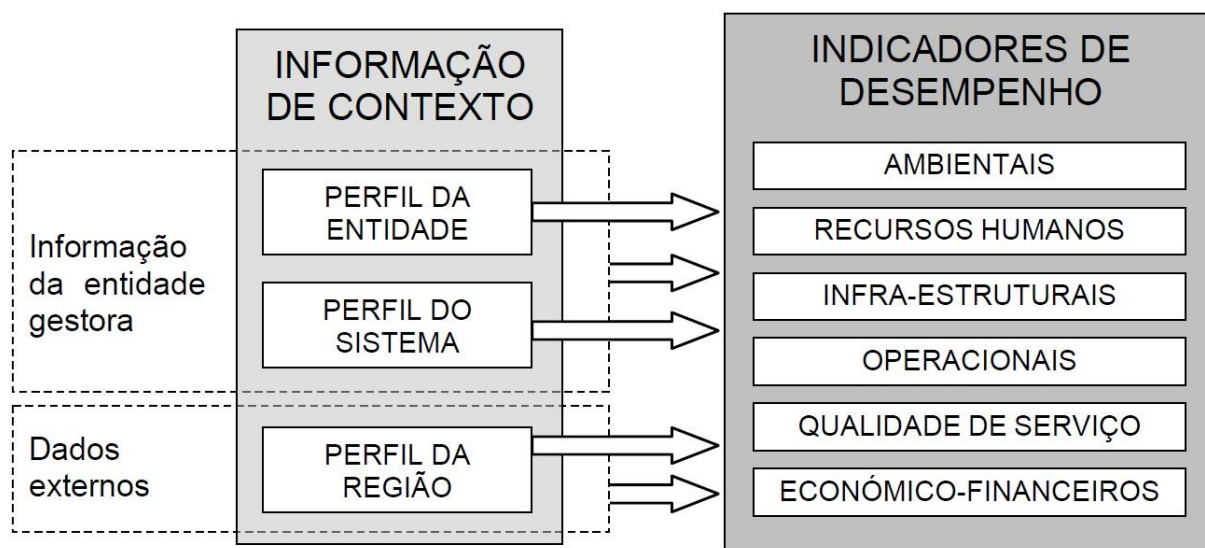


Figura 15 – Estrutura da IC e dos IDs para águas residuais (Matos *et al.*, 2004)

A maioria dos indicadores de desempenho (IDs) dependem de atividades diretamente controladas pelas entidades gestoras mas alguns deles não o são, pelo menos diretamente, podendo designar-se neutros. No entanto, estes não são irrelevantes, pois fornecem informação vital para um bom funcionamento do sistema e consequentemente para uma melhoria do fornecimento do serviço. Com base no tema e metodologia utilizada nesta dissertação indicam-se, de seguida, alguns exemplos de IDs ambientais neutros (wEn) que podem ser utilizados futuramente para o controlo e remoção da sedimentação nos coletores (Matos *et al.*, 2004):

- wEn12 – remoção de sedimentos dos coletores;
- wEn13 – remoção de sedimentos de órgãos complementares da rede;
- wEn14 – remoção de gradados e areias;
- wEn15 – remoção de sedimentos de sistemas de tratamento local.

A avaliação dos IDs, a elaboração de relatórios e interpretação de resultados podem ser feitos de acordo com os métodos utilizados pela ERSAR (Matos *et al.*, 2004).

2.5.3 Índices de desempenho (ID)

Os índices de desempenho (ID) são métricas que podem ser utilizadas na avaliação de desempenho técnico, como complemento dos sistemas indicadores de desempenho, tal como na metodologia de avaliação do desempenho técnico desenvolvida em Coelho (1997) para sistemas de abastecimento de água e Cardoso (2008) para sistemas de drenagem urbana. Esta metodologia tem como objetivo adotar um procedimento sistemático e normalizado que permite

medir objetivamente o desempenho global dos sistemas de drenagem e de cada elemento constituinte no presente, passado e efetuar previsões futuras.

Um índice de desempenho é uma medida resultante da combinação de várias medidas de desempenho (*e.g.*, indicadores de desempenho e outros) ou da aplicação de instrumentos de análise (*e.g.*, modelos de cálculo de eficiência de custos, modelos de simulação hidráulica) que têm como objetivo sintetizar toda a informação numa única medida (Matos *et al.*, 2004).

A metodologia de avaliação de desempenho técnico referida tem tido uma evolução ao longo das últimas décadas. Inicialmente foi desenvolvida e aplicada ao estudo dos sistemas de distribuição de águas em Portugal, como exemplo, os fundamentos criados e utilizados por Alegre (1992) e a metodologia desenvolvida por Coelho (1997) e por Coelho e Alegre (1998). Posteriormente Cardoso (2008) desenvolveu uma metodologia para os sistemas de águas residuais domésticas e pluviais, onde define os princípios, o enquadramento geral e o sistema de avaliação, em particular, os domínios de avaliação hidráulica e ambiental (Almeida e Cardoso, 2010).

Os pontos de vista estabelecidos por Cardoso (2008) para a avaliar o desempenho dos sistemas de drenagem urbana são a capacidade hidráulica, a condição de autolimpeza, as descargas diretas para o meio recetor, as influências indevidas, a exfiltração e a septicidade. Foram definidas vinte e seis medidas de desempenho, das quais onze referentes à avaliação no domínio hidráulico e quinze no domínio ambiental. A metodologia foi testada e validada através da aplicação e análise destas medidas a diversos casos de estudo. Os resultados da avaliação devem ser interpretados de uma forma conjunta e integrada, não analisando e interpretando individualmente as medidas seleccionadas.

Como exemplo, para a avaliação da capacidade hidráulica, da condição de autolimpeza e da condição da septicidade, Cardoso (2008) propõe a utilização, respetivamente das seguintes variáveis:

- Altura de escoamento (h);
- Velocidade média de escoamento nos coletores (v);
- Parâmetro de Pomeroy (Z_p).

Para cada uma destas variáveis Cardoso (2008) desenvolveu uma proposta das funções de desempenho indicadas na Figura 16.

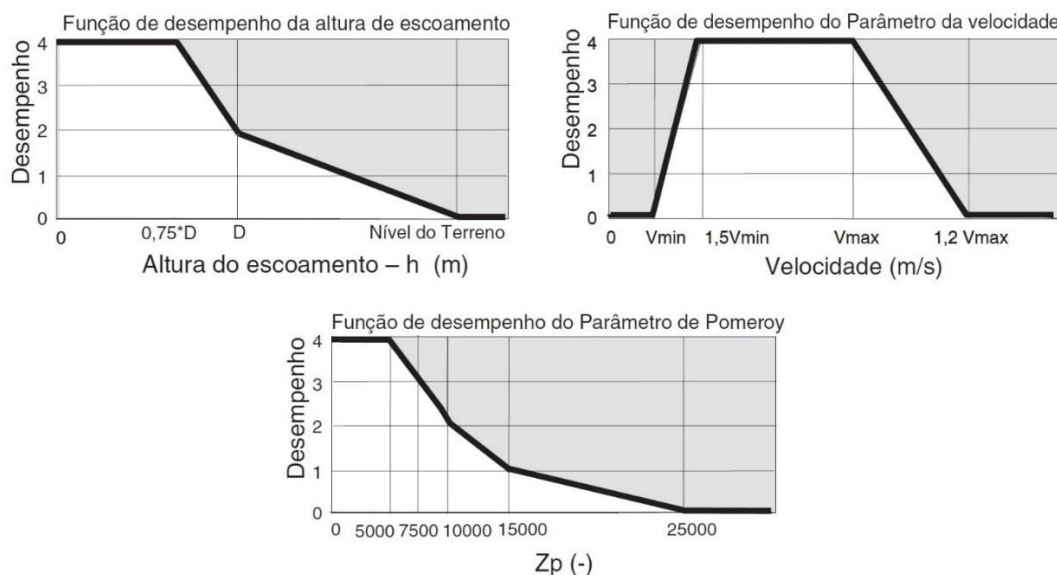


Figura 16 – Exemplos de funções de desempenho (Cardoso, 2008).

Todas as funções de desempenho apresentam uma escala de desempenho entre 0 e 4, em que cada valor corresponde a um determinado nível de desempenho definido por Cardoso (2008), em função do valor que cada variável escolhida assume. Por exemplo, na função de desempenho relativa à altura de escoamento, considera-se um nível de desempenho ótimo (4) para alturas de escoamento inferiores a 75% do diâmetro do coletor, um desempenho aceitável (2) quando a altura de escoamento iguala o diâmetro do coletor, considerando-se que o desempenho baixa linearmente até zero, valor alcançado quando a altura de escoamento atinge a cota do terreno. Neste último caso, o sistema não tem capacidade de escoamento e extravasa, dando origem a inundações no meio envolvente. Este tipo de problemas nunca deverá ocorrer nos sistemas de águas residuais domésticas, pois corresponde a uma falha grave do serviço prestado (Cardoso, 2008; Almeida e Cardoso, 2010). O valor do desempenho é calculado individualmente para cada coletor do sistema com base nas variáveis escolhidas sendo o desempenho global do sistema obtido recorrendo à função de generalização:

$$P = W(P_i) = \sum_{i=1}^n (w_i \cdot p_i)$$

em que:

- P – Valor de desempenho global;
- W – Função de agregação dos valores elementares;
- W_i – Peso relativo do elemento i;
- P_i – Valor do desempenho no elemento i.

As funções de generalização podem variar consoante as variáveis de estado em causa. As funções de generalização mais usadas são as médias ponderadas, adotando diferentes pesos, tais como o caudal de secção cheia dos coletores, o volume do coletor, o comprimento do coletor, a localização do mesmo, entre outros. A metodologia aqui utilizada para a avaliação de desempenho hidráulico também pode ser implementada noutras áreas de avaliação, que entidades gestoras acharem relevantes (*e.g.*, a avaliação do desempenho ambiental, estrutural, socioeconómico, entre outros).

2.6 Principais aplicações computacionais para modelação matemática

Atualmente existe grande acessibilidade a *hardware* e *software* adequado ao desenvolvimento e uso de aplicações computacionais para apoio à avaliação de desempenho. De entre as várias possibilidades destacam-se os programas que permitem efetuar a construção de modelos dos sistemas reais, permitindo a modelação do seu comportamento, em particular para fazer simulação do comportamento hidráulico. Presentemente estão disponíveis várias soluções comerciais (*e.g.*, MikeUrban, DHI, mikebydhi.com/; InfoWorks CS, Innovyze, www.innovyze.com/products/infoworks_cs/; SewerGEMS, Bentley, www.bentley.com/) e também algumas gratuitas. Nestas últimas destaca-se o programa c, desenvolvido pela U.S. Environmental Protection Agency (USEPA, 2005, www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/swmm).

Estas aplicações permitem testar diferentes situações de funcionamento dos sistemas embora seja necessário proceder à identificação prévia de parâmetros dos modelos com recurso a medições nos sistemas reais a modelar. Nesta dissertação recorre-se ao SWMM que tem potencialidades semelhantes aos programas comerciais, embora gratuito.

2.7 Importância de componentes

Em engenharia de fiabilidade, a avaliação da importância de componentes (AIC) tem vindo a ganhar relevância no estudo de sistemas de abastecimento público e de saneamento (Almeida e Leitão, 2010). Atualmente tem aplicação significativa no estudo de diferentes tipos de redes para avaliar e quantificar o impacto que as perturbações ao nível do componente terão ao nível do sistema (Rocco e Ramirez-Marquez, 2012).

Tem sido amplamente discutido e reconhecido que a AIC pode ajudar a determinar o componente mais importante quando estudado o desempenho geral de um sistema, e pode ser usado como uma ferramenta para a identificação de pontos fracos do sistema e as prioridades para as atividades de manutenção ou reabilitação (Ramirez-Marquez e Coit, 2007).

Rocco e Ramirez-Marquez (2012) apresentam várias medidas para classificar a criticidade do componente com base na fiabilidade do componente. São abordados alguns desafios como a classificação múltipla, a importância de componentes e importâncias multifuncionais. Para conseguir superar este desafio foram utilizadas soluções inovadoras baseadas em diversas técnicas disponíveis: o diagrama de Hasse, a classificação de Copeland e a otimização multiobjetivo.

Os primeiros estudos realizados e relacionados com a importância de componentes em sistemas multiestado (MSS – *multi-state systems*) devem-se a El-Newehi *et al.* (1978) e Barlow e Wu (1978), onde caracterizam componentes individuais e estudam o seu impacto no sistema global. Griffith (1980) analisa o impacto que a melhoria do componente pode ter no domínio da fiabilidade do sistema e explica a importância da fiabilidade do componente como uma generalização para o caso multiestado de medidas de importância de Birnbaum. Levitin e Lisnianski (1999) propuseram medidas de sensibilidade para contabilizar perturbações no sistema, baseado em mudanças ao nível do componente e no sistema estocástico. Zio e Podofillini (1988) desenvolveram novos métodos multiestado (*multi-state extensions*), como exemplo, para *reliability achievement worth* (RAW - quantifica o aumento percentual máxima em termos de fiabilidade do sistema gerado por um componente específico), *reliability reduction worth* (RRW - índice que mede o potencial de danos causados ao sistema por um determinado componente), *Fussell-Veseley* (FV - quantifica o decréscimo máximo na confiabilidade do sistema causada por um componente específico) e *Importance Birnbaum* (IB - define como a probabilidade de um determinado componente é crítico para o funcionamento do sistema), são amplamente utilizados em indústrias e que contribuem para quantificar individualmente a importância de componentes.

Ramirez-Marquez e Coit (2005) desenvolveram também métodos diretos a partir da abordagem de Birnbaum, RAW e FV, considerando medidas de importância compostas (*CIM – composite importance measures*). Da mesma forma, Ramirez-Marquez *et al.* (2006) desenvolveram medidas que fornecem informação detalhada sobre a contribuição de um componente para a insatisfação e falha do sistema. Aven e Ostebo (1986) desenvolveram

medidas de importância para quantificar como a degradação de componentes do sistema impedem o seu bom funcionamento e como aumentar a sua fiabilidade através da capacidade de impacto a que os componentes estão sujeitos. Wu e Chan (2003) e Griffith (1980) definem uma função de utilidade que distingue os componentes que mais afetam a fiabilidade de um sistema. Ramirez-Marquez e Coit (2007) desenvolveram uma abordagem heurística para explorar a informação acerca de medidas de importância com a intenção de orientar as atividades de fiabilidade.

Vaurio (2010, 2011) descreve funções e aplicações de medidas de importância de componentes necessárias para tomadas de decisão e para o conhecimento dos riscos de operação, manutenção e segurança dos sistemas. Implementa um modelo eficiente para calcular as medidas de importância e desenvolve novas medidas relacionadas com o diagnóstico de falhas do sistema, nível crítico de falhas, contagem de falhas e controle do sistema. Aborda a importância de Birnbaum e utiliza métodos alternativos e precisos para a quantificação de probabilidade de falha e nível de criticidade dos sistemas.

Recentemente, Rocco e Ruiz (2010) propuseram métodos de sensibilidade para avaliar a importância dos componentes. Além disso, Natving (2011a, 2011b) e Natvig *et al.* (2011) apresentam generalizações de medidas de importância para sistemas reparáveis e não-reparáveis.

Ramirez-Marquez e Coit (2007), apresentam medidas de importância compostas (CIM) para sistemas multiestado com componentes multiestado (*MSMC – Multi-state Systems with Multi-state Components*). Estas medidas são frequentemente utilizadas para avaliar e classificar o impacto e a criticidade de componentes individuais dentro de um sistema. O estudo efetuado teve dois objetivos: primeiro, distinguir entre dois tipos de medidas de importância que podem ser usados para avaliar a criticidade dos componentes em MSMC com ligação à fiabilidade dos sistemas multiestado, e em segundo, com base na CIM, desenvolver uma heurística de localização dos componentes para maximizar melhorias de fiabilidade do sistema. A heurística utiliza a simulação de Monte-Carlo, juntamente com *max-flow min-cut algorithm* como um meio para calcular a CIM do componente. Os resultados experimentais para diferentes complexidades do sistema mostram que estes novos CIM podem efetivamente estimar a criticidade dos componentes em relação à fiabilidade dos sistemas multiestado. Do mesmo modo, estes resultados mostram que a base de heurística-CIM pode ser usada como uma técnica rápida e eficaz para orientar melhorias de fiabilidade do sistema.

Um problema importante na teoria da fiabilidade é identificar componentes dentro do sistema que mais significativamente influenciam o comportamento do sistema em relação à disponibilidade e fiabilidade. Quando não se pode melhorar todos os componentes de uma só vez, deve-se dar prioridade aos componentes mais importantes. Dessa forma, as entidades gestoras poderão estabelecer prioridades de atuação e investimento na manutenção e reabilitação, garantindo o aumento máximo de fiabilidade de todo o sistema (Sallak, Schon e Aguirre, 2013).

Recentemente, em Portugal, têm vindo a ser desenvolvidos métodos específicos e ferramentas computacionais para apoiar as entidades gestoras de sistemas urbanos de água na implementação da metodologia de gestão patrimonial de infraestruturas (GPI), desenvolvida no âmbito do projeto AWARE-P – Advanced Water Asset Rehabilitation, nas suas próprias organizações. Este projeto teve o objetivo de promover a aplicação de abordagens integradas e baseadas no desempenho, custo e risco dos sistemas, incluindo a importância de componentes, para a sua gestão patrimonial, incluindo a reabilitação de sistemas urbanos de água. A metodologia proposta difere de outras metodologias existentes por incorporar, numa única plataforma, o processo completo de GPI e por representar uma visão integrada do funcionamento das infraestruturas, ou seja, considerando o sistema com um todo, e não como um mero somatório de componentes individuais (Alegre *et al.*, 2011; Almeida e Leitão, 2010).

Um exemplo prático da implementação da metodologia AWARE-P pode ser observado na entidade gestora dos serviços de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais de Oeiras e Amadora (SIMAS O&A), que abrange uma área de 70 km² e uma população aproximada de 350 mil habitantes. Os SIMAS O&A têm dois objetivos: melhorar o suporte dos sistemas urbanos de água para estabelecer diagnósticos mais fiáveis da rede e utilizar métodos de tomada de decisões mais eficazes; serem reconhecidos como uma entidade de excelência, que se preocupa e implementa medidas para garantir a qualidade dos serviços prestados, desenvolvendo as suas atividades em torno de responsabilidades sociais, ambientais e financeiras (Marques *et al.*, 2011). Outras práticas desta metodologia podem ser encontradas em Cardoso *et al.* (2011) e Carriço *et al.* (2011).

O projeto AWARE-P considera explicitamente que as infraestruturas de abastecimento de água ou de drenagem de águas residuais e pluviais têm um funcionamento dominante como sistema. A metodologia permite, ainda, avaliar e comparar alternativas de intervenção a partir de perspetivas de desempenho, de custo e de risco, ao longo do tempo, para os horizontes de

análise estabelecidos tendo em conta os objetivos e metas definidos (Alegre e Covas, 2010; Almeida e Cardoso, 2010). Em suma, o objetivo da metodologia é apoiar as entidades gestoras de sistemas urbanos de água na gestão patrimonial das suas infraestruturas urbanas de água.

2.7.1 Exemplos de metodologias utilizadas

A título de exemplo, são apresentadas duas metodologias utilizadas no projeto AWARE-P por Almeida e Leitão (2010) para calcular a importância dos componentes em sistemas de abastecimento de água e sistemas de águas residuais domésticas. As metodologias são usadas para classificar os componentes em termos da sua influência sobre a funcionalidade do sistema hidráulico; a medida utilizada para classificar os componentes é chamado de Índice de Importância hidráulico (HII).

Os resultados HII obtidos utilizando as duas metodologias variam entre 0 e 1 (escala contínua) de acordo com o Quadro 6.

Quadro 6 – Classificação de importância de componentes (Almeida e Leitão, 2010)

Escala se consequência	Índice de Importância hidráulico (HII)
1	[0; 0.20[
2	[0.20; 0.40[
3	[0.40; 0.60[
4	[0.60; 0.80[
5	[0.80; 1.0]

Importância de componentes em sistemas de abastecimento de água

O método analisa a importância de cada conduta da rede de abastecimento de água com base no efeito da variação da pressão no reservatório de água. Calcula o HII, ou seja, o impacto de cada conduta na fiabilidade total da rede, com base na variação da pressão nos nós e o seu efeito no abastecimento de água.

O método utiliza o *software* EPANET de modelação hidráulica e qualidade da água de abastecimento para calcular as pressões nos nós. É avaliada a pressão em cada nó da rede e comparados com os valores de pressão mínimos e de referência definidos pelo utilizador. Com base nos valores de pressão, o HII é calculado para cada conduta (Almeida e Leitão, 2010; Almeida, 2011).

Segundo Wagner, Shamir e Marks (1998), o conceito subjacente ao cálculo do HII é descrito da seguinte maneira (Figura 17):

- Se a pressão num nó está abaixo da pressão mínima, não satisfaz a condição pretendida;
- Se a pressão num nó está acima da pressão de referência, a condição é totalmente satisfeita;
- Se a pressão num nó está entre os dois valores de pressão, a procura é ajustada de acordo com a equação seguinte:

$$Q_i = Q_{0,i} \sqrt{\frac{P_i - P_{min}}{P_{ref} - P_{min}}}$$

em que:

Q_i – Procura satisfeita;

$Q_{0,i}$ – Procura total no nó i ;

P_i – Pressão no nó i ;

P_{min} – Pressão mínima;

P_{ref} – Pressão de referência.

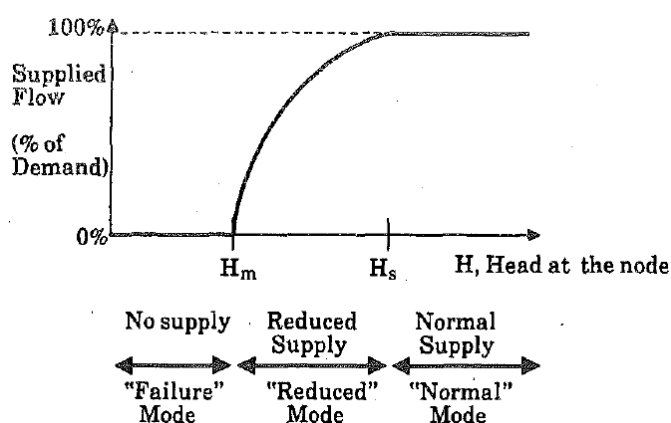


Figura 17 – Resposta à solicitação do consumo em função da perda de carga hidráulica (Wagner *et al.*, 1998)

O HII é calculado com base na relação entre a água fornecida à rede e a total da rede, utilizando a seguinte equação:

$$HII_n = \sum_{i=1}^i \left(1 - \frac{Q_i}{Q_{0,i}} \right)$$

Os dados necessários para a realização desta análise são os seguintes:

- Ficheiro de dados do modelo EPANET (*.inp). A calibração e validação do modelo têm de ser validados antes de qualquer procedimento;
- Valor Pref definido pelo utilizador;
- Valor Pmin definido pelo utilizador.

Outras melhorias estão a ser estudadas pelos atores, sendo que uma delas está relacionada com a possibilidade de múltiplas falhas (simultaneamente) das condutas. Esta abordagem pode ser importante em casos de ocorrência de sismos.

Importância de componentes em sistemas de águas residuais domésticas

Com base na metodologia de abastecimento de águas, foi também desenvolvido um novo método de avaliação da importância de componentes para sistemas de águas residuais domésticas (Almeida e Leitão, 2010).

O método apresentado também calcula um HII, no entanto, é feita uma abordagem totalmente distinta face ao caso anterior. Para os sistemas de coletores foi proposto um método com base em diagramas em árvore, assumindo que as redes são dendríticas, o que é a situação habitual para este tipo de sistemas.

São utilizados dados essenciais do ficheiro base (*.inp) do programa SWMM - Storm Water Management Model, ou seja, informações detalhadas da rede (*e.g.*, dados dos nós, coletores, emissários e sub-bacias) para construir o diagrama em árvore. Antes de qualquer processo de análise, o modelo de rede (*.inp) tem de estar validado e calibrado.

O cálculo do HII assume uma métrica associada à população ou a área que é drenada para um nó específico da rede. O método é executado várias vezes, uma vez para cada coletor, sendo retirado o coletor de cabeceira. Posteriormente, o algorítmico de conectividade procura quais os nós que não têm ligação com o nó do emissário. O sentido de escoamento é importante nesta análise. Como resultado da análise da importância de componente em sistemas de águas

residuais são gerados dois HII: (i) HII_d que é uma medida da importância do componente para as águas residuais domésticas, e (ii) HII_p que está relacionada com a importância de componente para as águas pluviais. A primeira é calculada com base na população de cada nó enquanto o último é calculado com base na área de sub-bacia que drena para um nó específico. O cálculo do HII é semelhante ao método utilizado para avaliar a importância de componentes em sistemas de abastecimento de água.

Em termos específicos para as funções dos sistemas de drenagem não foram encontradas outras referências específicas de aplicação do conceito de importância de componentes.

3 METOLOGIA

3.1 Descrição geral da metodologia

A metodologia de avaliação da importância de componentes em sistemas de águas residuais domésticas, que se propõe na presente dissertação, baseia-se em conceitos desenvolvidos e aplicados por Cardoso (2008) a casos de estudos de sistemas de drenagem urbana (*e.g.*, avaliação do desempenho dos sistemas de saneamento da Costa do Estoril – SANEST, dos sistemas de drenagem da Quinta do Borel e Lisboa).

O método desenvolvido para avaliar a importância de componentes em sistemas de águas residuais domésticas, fundamenta-se através de medidas ou indicadores de desempenho calculados a partir da análise do sistema, sob pontos de vista específicos, das características ou comportamento da rede de escoamento. A metodologia proposta neste trabalho é composta por seis módulos, conforme se apresenta na Figura 18:

- Módulo 1 – Definição de objetivos de modelação;
- Módulo 2 – Seleção do programa computacional;
- Módulo 3 – Construção, caracterização e simulação do sistema de drenagem;
- Módulo 4 – Avaliação de desempenho e importância de componentes;
- Módulo 5 – Representação em SIG.

O módulo 1 permite identificar quais as melhores variáveis e parâmetros a estudar para analisar sistemas de águas residuais domésticas. Inúmeros objetivos podem ser estudados pelas entidades gestoras, tais como, os descritos nas normas EN 752:2008 e ISO 24511:2007(E).

No módulo 2 é selecionado o programa de modelação a utilizar para se construir o modelo do caso de estudo, tendo em consideração custos e capacidades de processamento de informação desejadas e ir de encontro aos objetivos propostos.



Figura 18 – Fluxograma da metodologia proposta

O módulo 3 permite construir e simular de raiz todo o modelo do sistema a analisar. São inseridos todo o tipo de dados referentes à rede de escoamento (*e.g.*, georreferenciação de coletores e câmaras de visita, informação detalhada de cada componente, incluindo a identificação, dimensões, forma, material e profundidade), é feita a verificação dos dados (*e.g.*, identificação de erros e lacunas), a simulação de cenários para os diferentes níveis de sedimentação implementados à rede de escoamento e por fim faz-se a exportação de resultados.

O módulo 4 tem o objetivo de avaliar o desempenho e a importância de componentes do sistema através da utilização dos dados exportados do SWMM, das funções de desempenho e ferramentas computacionais desenvolvidas para o efeito. São identificados os componentes críticos do sistema com base na classificação em termos de importância do componente e indicadas possíveis soluções de reabilitação do sistema.

O módulo 5 possibilita a visualização detalhada da importância dos componentes do sistema em SIG e identificar através de cores, quais os coletores críticos e câmaras de visita que dão origem a inundações.

3.2 Definição de objetivos de modelação

Nesta fase pretende-se estabelecer uma visão objetiva e estruturada do modelo que se pretende analisar e modelar, vocacionada para a manutenção e reabilitação dos sistemas de águas residuais geridos pelas entidades gestoras. Os objetivos de modelação considerados são os seguintes:

- Avaliar a capacidade hidráulica dos sistemas e dos componentes constituintes, podendo condicionar a entrada em carga dos coletores e consequentemente na inundação do meio envolvente por extravasamento nas câmaras de visita;
- Avaliar as velocidades e níveis de escoamento, caso estejam fora dos limites recomendados, podem causar a acumulação de sedimentos ou desgaste acelerado dos materiais e a entrada em carga do sistema;
- Avaliar condicionalismos ao escoamento (*e.g.*, por obstrução, sedimentação ou obstáculos), influenciando a redução de capacidade hidráulica a montante;
- Avaliar a importância dos componentes, recorrendo à avaliação de desempenho hidráulico dos sistemas por via de medidas, indicadores e índices de desempenho selecionados;
- Apoiar as entidades gestoras na aplicação da modelação matemática em sistemas de drenagem de águas residuais e pluviais, incluindo o processamento dos dados e de resultados para ajudar na seleção de medidas de manutenção e reabilitação destes sistemas.

Para além dos objetivos escolhidos para a presente dissertação, podem também ser estudados pelas entidades gestoras outros objetivos, tais como, os descritos nas normas EN 752:2008 e ISO 24511:2007(E).

3.3 Programa de simulação SWMM

Dos programas computacionais descritos em 2.6, na presente dissertação foi utilizado o programa SWMM- Storm Water Management Model, desenvolvido pela U.S. Environmental Protection Agency. A utilização deste *software* é adequado aos objetivos a atingir e tem as seguintes vantagens:

- Adequa-se bem às necessidades atuais de simulação dos sistemas de águas residuais e de águas pluviais;

- É fiável, bem documentado e beneficia de recursos de consulta importantes, como um *newsgroup* muito participado pelos melhores especialistas mundiais;
- É de utilização livre e gratuita, não havendo quaisquer restrições ao seu uso;
- Dispõe de capacidades para simulação do transporte de poluentes na superfície da bacia de drenagem e no interior da rede de coletores;
- O formato de dados é lido pelos principais simuladores do mercado: os modelos desenvolvidos neste *software* podem eventualmente vir a ser transferidos com facilidade para outro software, se for opção da entidade gestora vir a adquirir, numa fase posterior, um simulador diferente.

A opção pelo SWMM permite uma abordagem simples e imediatamente disponível ao desenvolvimento dos modelos, sem custos de aquisição, potenciando toda a fase de aprendizagem e formação do *knowhow* interno da entidade gestora, sem prejuízo de mais tarde ser tomada uma decisão de cariz mais definitivo, que poderá indicar a manutenção do mesmo *software* ou a opção por um outro, em função da evolução dos principais sistemas de informação da entidade gestora (*e.g.*, sistema de telegestão, sistema de informação geográfica, sistema de clientes) e da oferta de alternativas existente no mercado.

3.4 Construção, caracterização e modelação do sistema de drenagem

A modelação matemática de um sistema de águas residuais é um processo de elevada complexidade e requer tempo e informação para a sua construção, calibração e simulação. Na Figura 19 são apresentadas as principais etapas necessárias para modelar e extrair os resultados pretendidos, no âmbito da presente dissertação.

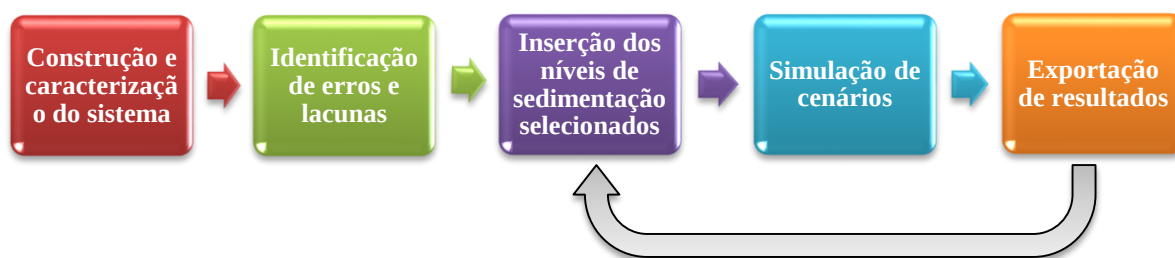


Figura 19 – Processo de modelação hidráulica com recurso a *software* SWMM

3.4.1 Construção e caracterização do sistema

A construção do modelo de sistemas de águas residuais baseia-se em dados e informação dos componentes constituintes do sistema. A qualidade dos dados é essencial, sendo desejável verificar a sua exatidão, a sua consistência e atualização, devendo existir um sistema fiável de arquivo dos dados. Atualmente, com a disponibilidade da tecnologia, é recomendável que a georreferenciação dos dados faça parte da prática corrente das entidades gestoras. A principal categoria de dados de base para a construção do modelo inclui todos os dados de cadastro dos sistemas, ou seja, toda a informação detalhada dos diferentes componentes do sistema, incluindo a identificação, dimensões, localização, forma, material, ligações, profundidade, entre outros. Toda esta informação deverá estar atualizada e pode ser disponibilizada pelas entidades gestoras, em diferentes formatos (*e.g.*, suporte em papel ou digital). Caso alguma informação esteja em falta, deverá ser proposto, como por exemplo, o levantamento topográfico ou inspeções de campo.

3.4.2 Identificação de erros e lacunas

Após a construção e caracterização do sistema em *software* SWMM, é necessário identificar possíveis erros de inserção dos dados no sistema (*e.g.*, ligações indevidas, desnível entre câmaras de visita, sentido de escoamento, cotas de soleira, diâmetro dos coletores, entre outros).

3.4.3 Cenários e níveis de sedimentação

Para se analisar e identificar os componentes críticos que mais influenciam o desempenho global de sistemas de águas residuais, optou-se por avaliar o comportamento de um sistema sujeito a cinco fatores de carga ($fc = 1, 2, 4, 8$ e 16), relativamente ao caudal médio de tempo seco, e vários níveis de sedimentação que representam níveis de redução da capacidade de vazão. Os níveis de sedimentação utilizados no modelo correspondem a seis percentagens de redução da altura livre de escoamento no coletor: 20%, 40%, 60%, 80%, 90% e 99%, sendo avaliados trinta cenários na totalidade. Inicialmente foi feita a simulação da rede limpa para um fator de carga unitário. Posteriormente, para cada um dos fatores de carga, foram impostos seis níveis de sedimentação, coletor a coletor, sendo feita a modelação e exportação de resultados para cada nível de sedimentação, até se obterem os resultados para os fatores de

carga propostos. As Figuras 19 e 20 exemplificam a abordagem de todo o processo de modelação.

3.4.4 Simulação de cenários

A simulação de cenários (Figura 20) para os sistemas de águas residuais tem como base a modelação do sistema através da implementação de fatores de carga e níveis de sedimentação propostos em 3.4.3, que representa a redução da capacidade de vazão. A escolha e análise de cenários têm o objetivo de obter informação sobre o funcionamento do sistema para diferentes situações de funcionamento. A informação resultante pode ser utilizada para comparação de alternativas de projetos, operação, manutenção e reabilitação, para previsão do funcionamento do sistema para determinada evolução das afluências ao sistema (*e.g.* ligações indevidas, aumento do número de habitantes, ligações a outros sistemas) e efeitos de problemas potenciais no sistema (*e.g.* obstruções).

Na presente dissertação a simulação de cenários tem como objetivo estudar a velocidade e altura de escoamento na rede doméstica para classificar a importância de componentes. Para se conseguir obter esta informação do sistema, inicialmente teve-se que simular a rede sem nenhum tipo de obstrução para mais tarde fazer-se comparação e obter-se resultados relativamente ao caso inicial. Posteriormente, para cada fator de carga, seleciona-se um coletor e impõe-se um nível de sedimentação, é feita a simulação hidráulica do sistema global e faz-se a exportação de resultados, como demonstrado na Figura 20. Este processo termina quando são feitas as simulações para todos os coletores (individualmente) do sistema, níveis de sedimentação e fatores de carga propostos.



Figura 20 – Automatização do processo de modelação utilizando o SWMM

Para se ter a noção da quantidade de informação proveniente das simulações, é dado a título de exemplo, o caso de estudo da presente dissertação. O sistema de águas residuais domésticas é composto por 148 coletores, efetuando-se 4 440 simulações hidráulicas e exportações de resultados para todo o sistema. Foram simulados 30 cenários (6 níveis de sedimentação e 5 fatores de carga), sendo cada cenário composto por 148 simulações, o correspondente ao número de coletores do sistema.

3.4.5 Exportação de resultados

A exportação de resultados foi efetuada através de uma aplicação desenvolvida para o efeito e que exporta os resultados para dois ficheiros de texto (formato “.txt”) sob a forma de tabelas. Os resultados extraídos e que foram utilizados numa fase seguinte são: a velocidade média de escoamento nos coletores e a cota de água nas câmaras de visita em cada instante de cálculo. A quantidade de informação necessária para uma abordagem integrada sobre a importância de componentes, utilizando a metodologia de avaliação de desempenho descrita em 3.5 é consideravelmente extensa. Para processar esta informação, foi necessário desenvolver um conjunto de ferramentas (*e.g.*, aplicação em C++, aplicação em visual basic do Microsoft Excel e um ficheiro Bach File) que permitissem automatizar todo o processo e ainda obter informação síntese essencial. Particularmente, quando o sistema apresenta um desempenho hidráulico deficiente, é essencial caracterizar as variáveis em estudo, tais como, a velocidade e altura de escoamento.

3.5 Avaliação de desempenho e importância de componentes

3.5.1 Procedimento da avaliação

A avaliação de desempenho e da importância de componentes de um sistema de águas residuais envolve maior complexidade comparativamente com o processo de modelação apresentado em 3.4. Na Figura 21 pode-se observar um panorama geral de todo o procedimento de análise, bem definido e estruturalmente organizado, indo ao encontro dos objetivos propostos em 1.2.



Figura 21 – Processo de avaliação de desempenho e da importância de componentes

Com base na metodologia proposta, para a informação importada do SWMM e do sistema a analisar, foram desenvolvidas várias aplicações computacionais em visual basic, do Microsoft Excel, para que todo o processo de avaliação de desempenho e da importância de componentes seja automatizado. As aplicações são, nomeadamente:

- *Dados.xls*
- *Desempenho.xls*
- *Resultados.xls*

Inicialmente, os dados exportados do SWMM são importados para a aplicação *Dados.xls*, onde irão ser organizados automaticamente, em conjunto com os dados do sistema,

para serem posteriormente utilizados como base de dados. Seguidamente as aplicações *Desempenho.xls* e *Resultados.xls* serão utilizadas para o processamento, cálculo e extração de índices de desempenho do sistema a analisar.

3.5.2 Avaliação de desempenho

A avaliação do desempenho hidráulico é baseada na aplicação das funções de desempenho descritas em 2.5.3 (Figura 16) e neste mesmo capítulo (Figuras 22 e 23), tendo sido inicialmente desenvolvidas por Cardoso (2008). No âmbito do presente trabalho, foi desenvolvida uma nova função de desempenho, para analisar especificamente o extravasamento nas câmaras de visita (Figura 24). Nesta fase procede-se ao cálculo do desempenho do sistema como um todo, através da aplicação *Desempenho.xls*, mencionada anteriormente. Este processo consiste no cálculo do desempenho, considerando três pontos de vista: capacidade hidráulica e ocorrência de extravasamento, avaliadas pela variável altura de escoamento, e capacidade de transporte de sedimentos, traduzida pela variável velocidade média de escoamento.

Índice de desempenho hidráulico para a altura de escoamento (IDH₁)

De acordo com Cardoso (2008), em sistemas separativos domésticos, a função de desempenho relativa à avaliação da capacidade hidráulica dos coletores pode ser representada como indicado na Figura 22 (Curva 1). Esta função foi concebida tendo em conta os critérios de dimensionamento regulamentares em Portugal, D.R. n.º 23/95, de 23 de Agosto. Nesta função, considera-se que o desempenho do sistema é ótimo (4) para alturas do escoamento inferiores ao valor Limite*D, tomando Limite o valor de 0,50 ou 0,75, consoante o diâmetro do coletor seja respetivamente inferior ou igual a 500 mm, e superior a este valor.

O limite de aceitabilidade (2) corresponde à altura de escoamento que iguala o diâmetro do coletor, significando que o escoamento começa a fazer-se sob pressão, o que se deve evitar para garantir a ventilação dos coletores e o arejamento da massa líquida. Uma vez que os coletores têm, em geral, capacidade de acomodar alguns caudais excessivos, funcionando sob pressão (embora tal não seja desejável), considera-se que o desempenho baixa linearmente até zero, quando atinge a cota do terreno. Neste caso o sistema extravasa para a superfície da bacia, dando lugar a inundação, caso que nunca deverá ocorrer em sistemas separativos domésticos e que corresponde a uma grave falha de serviço.

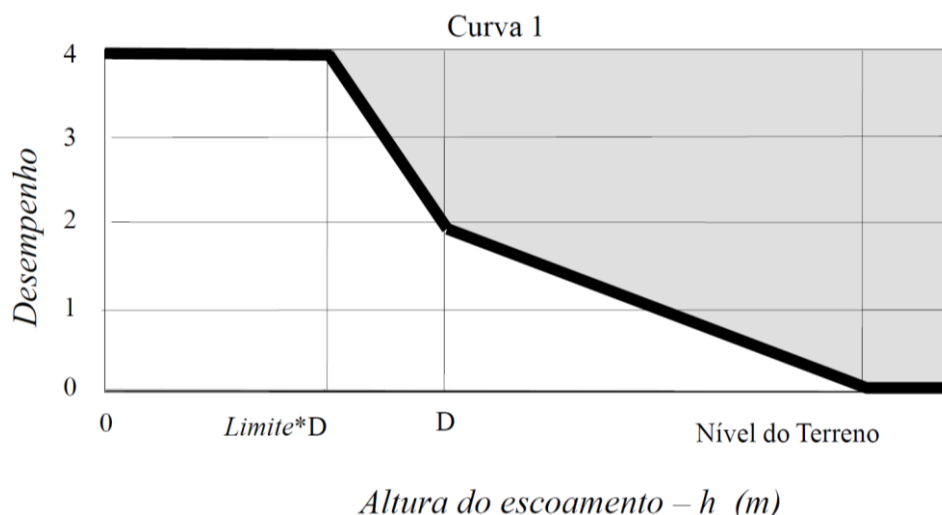


Figura 22 – Função desempenho de altura de escoamento (Cardoso, 2008)

Índice de desempenho hidráulico para a velocidade de escoamento (IDH₂)

De acordo com Cardoso (2008), uma função de desempenho relativa à capacidade de transporte de sedimentos, desenvolvida para sistemas separativos domésticos, está representada na Figura 23 (Curva 2). Considerando os valores regulamentares em Portugal, D.R. n.º 23/95, de 23 de Agosto, para velocidades de escoamento inferiores 0,6 m/s ($V_{\min}$), o desempenho é nulo, devido à grande propensão para a ocorrência de problemas de deposição de sedimentos e de degradação da qualidade da água no interior dos sistemas. Por esta razão, considera-se que o sistema apresenta um desempenho ótimo (4) para velocidades entre $1,5V_{\min}$ e 3,0 m/s ($V_{\max}$). Acima do valor máximo admite-se, nestes sistemas, uma tolerância de 20%, valor a partir do qual o desempenho também é considerado nulo, uma vez que as elevadas velocidades causam problemas significativos de erosão dos coletores e de perdas de carga localizadas nas confluências, junções, quedas e transições de coletores.

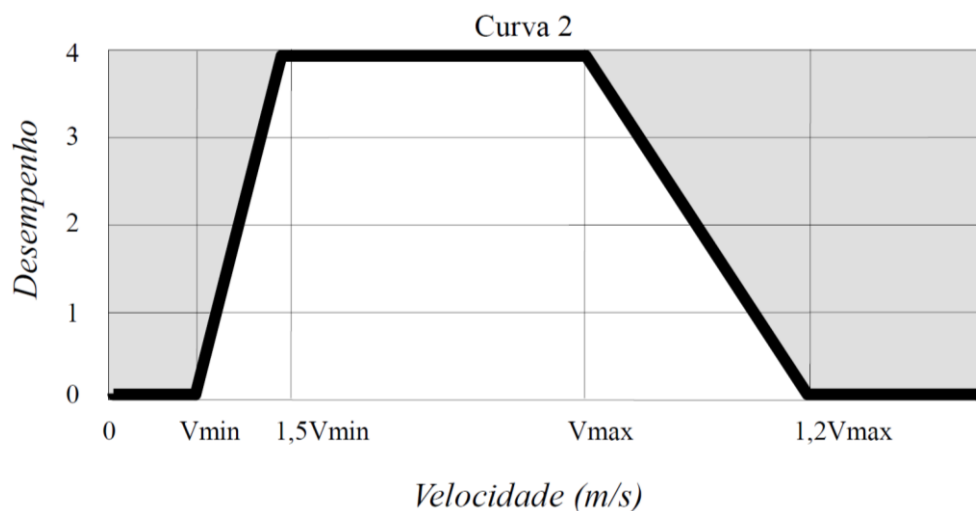


Figura 23 – Função desempenho de velocidade de escoamento (Cardoso, 2008)

Índice de desempenho hidráulico para avaliação do extravasamento ($IDH_{extrav.}$)

Na presente dissertação, desenvolveu-se a função de desempenho relativa ao extravasamento em câmaras de visita, para sistemas separativos domésticos e pluviais, que pode ser representada como indicado na Figura 24 (Curva 3). Nesta função, considera-se que o desempenho do sistema é ótimo (4) para alturas do escoamento (h) inferiores ao valor da cota do terreno (HT), independentemente de tratar-se de um sistema pluvial ou doméstico. Quando a altura de escoamento é superior à cota do terreno ($h > HT$), o desempenho do sistema é considerado nulo, uma vez que deixa de ter capacidade de escoamento e extravasa, dando origem a inundações no meio envolvente.

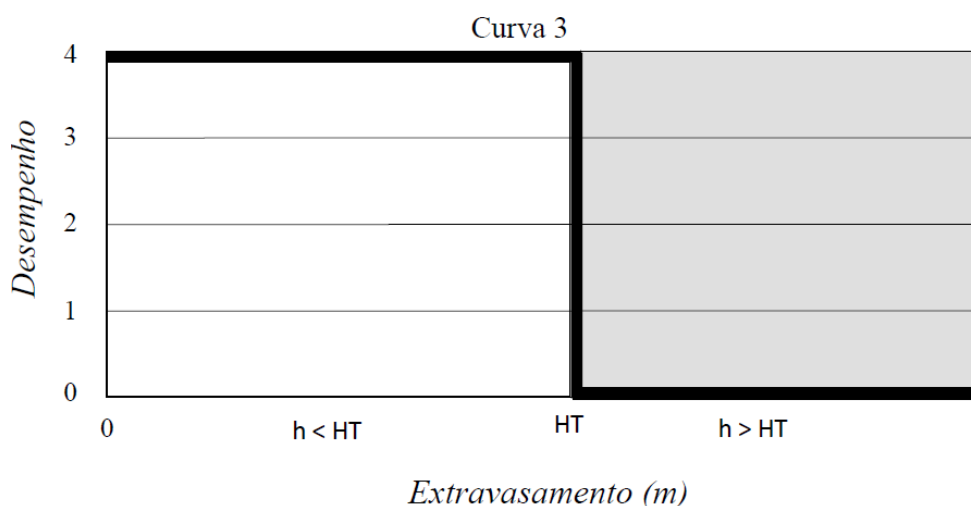


Figura 24 – Função desempenho para avaliação do extravasamento

Na análise de sistemas de águas residuais domésticas é essencial estudar o comportamento do sistema quer no que respeita a altura e velocidade de escoamento, quer o extravasamento. O incumprimento das normas e requisitos regulamentares pode implicar uma falha grave no funcionamento do sistema, problemas ambientais e económicos.

A classificação convencional de desempenho aqui estabelecida é a seguinte:

- 4 – desempenho ótimo;
- 3 – desempenho bom;
- 2 – desempenho aceitável;
- < 2 – desempenho inaceitável:
 - 1 – desempenho deficiente;
 - 0 – falha de serviço

A análise da informação, dos dados disponíveis ou provenientes da modelação é feita à escala do elemento – coletor ou câmara de visita –, conforme demonstrado na Figura 25, utilizando as seguintes entidades:

- Valor numérico de uma propriedade do sistema, traduzido pela variável de estado ou indicador, que se considere representativo do aspeto em apreciação;
- Uma função de desempenho que traça a relação entre os valores dessa variável ou indicador e uma escala de classificação do desempenho para cada elemento do sistema;
- Um operador que permite a agregação espacial dos valores elementares, de forma a poderem ser obtidos valores globais para a totalidade do sistema ou para um dado subsistema.

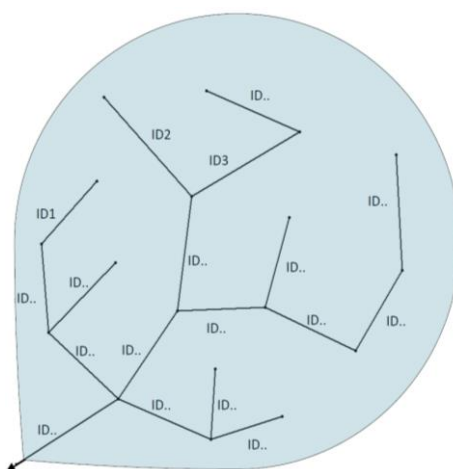


Figura 25 – Desempenho elementar e global do sistema

Para a avaliação elementar, tal como descrito em 2.5.3, o desempenho global do sistema pode ser calculado pela equação:

$$DG = \sum_{i=1}^{nc} ID_i \cdot p_i$$

em que:

DG – Desempenho global do sistema;

ID_i – Índice de desempenho para cada elemento i;

p_i – Peso de cada elemento i;

nc – Número total de elementos;

i – Coletor ou câmara de visita.

No Quadro 7 são apresentados, como exemplo, alguns objetivos e funções de generalização aplicados ao caso de estudo, relativamente à avaliação da capacidade de escoamento e da condição de autolimpeza do sistema.

Quadro 7 – Objetivos relativos à avaliação da capacidade de escoamento e da condição de autolimpeza.

Objetivo	Elemento	Variável de estado	Função generalizadora	
			Tipo	Peso
Cumprir os requisitos regulamentares da altura de escoamento	Coletor	Altura de escoamento	Média ponderada	Caudal de secção cheia x comprimento do coletor
	Câmara de visita	Altura de escoamento	Média simples	
Cumprir os requisitos regulamentares de velocidade mínima	Coletor	Velocidade de escoamento	Média ponderada	Diâmetro x comprimento do coletor

3.5.3 Cálculo e interpretação dos índices de desempenho

Após a modelação do desempenho do sistema através da aplicação *Desempenho.xls*, a exportação de resultados é feita para a aplicação *Resultados.xls*, onde a sua organização é pré-estabelecida sob a forma de tabelas e gráficos. Os resultados da avaliação de desempenho podem ter diversas finalidades, conforme a necessidade, disponibilidade de informação e objetivos de cada entidade gestora. As Figuras 26 à 29 apresentam alguns exemplos de resultados que é possível obter. As seguintes análises foram realizadas à escala elementar (do coletor ou da câmara de visita), utilizando dados de modelação:

- Ao longo do tempo – gráfico de desempenho do evento, em que se utiliza um intervalo temporal de modelação refletindo um evento ou conjunto de eventos em análise, representados nas Figuras 26, 27 e 28. Aplica-se a metodologia calculando os valores elementares de desempenho em cada instante, considerando um passo de tempo adequado. Este gráfico representa a variação da média dos valores de desempenho no tempo, calculados através da função de generalização. Com base nos valores elementares de desempenho é ainda possível representar as bandas de variação dos valores de desempenho, que dão indicação sobre a variação do desempenho que ocorre em todos os elementos do sistema (espacial). Estas bandas são expressas através de percentis, conforme ilustrado nas Figuras 26, 27 e 28;
- Relativa a solicitações definidas – gráfico de desempenho do sistema (Figura 29) em que o cálculo do desempenho é feito para uma sequência de solicitações ao sistema, tais como diferentes níveis de sedimentação, diferentes fatores de carga traduzidos, por exemplo, por fatores multiplicativos em relação ao caudal médio de tempo seco, ou a determinados instantes no tempo. Neste caso, o eixo das abcissas cobre uma gama representativa das condições que se pretende estudar e o eixo das ordenadas representa o desempenho obtido. Este gráfico representa a variação média dos valores de desempenho obtidos para cada solicitação ou para cada instante de tempo determinado, calculados através da função de generalização. Com base nos valores elementares, é ainda possível representar as bandas de variação dos valores de desempenho, que dão indicação sobre a variação do desempenho que ocorre em todos os elementos do sistema (espacial). Estas bandas são obtidas através de percentis, conforme se exemplifica na Figura 29.

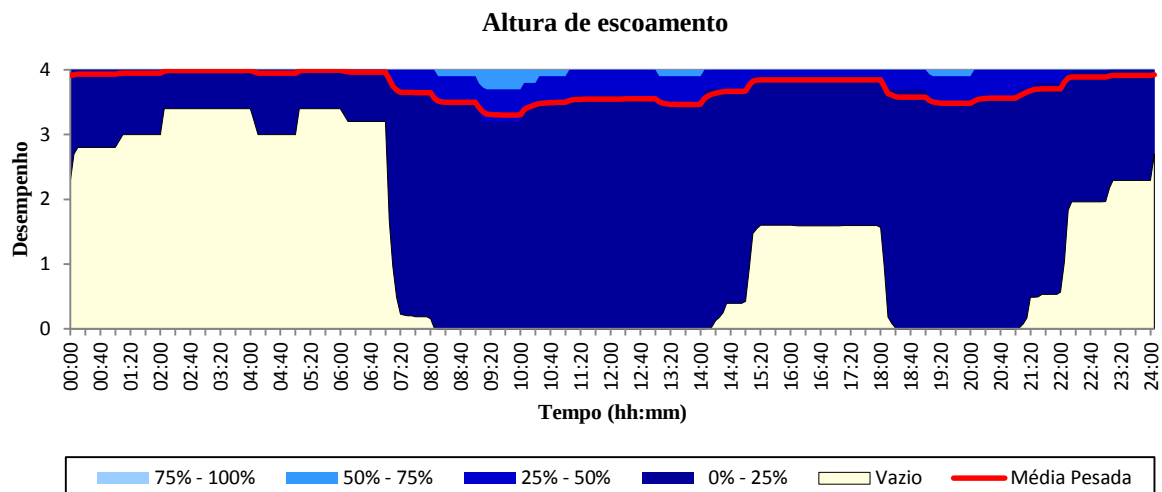


Figura 26 – Exemplo gráfico do desempenho de altura de escoamento

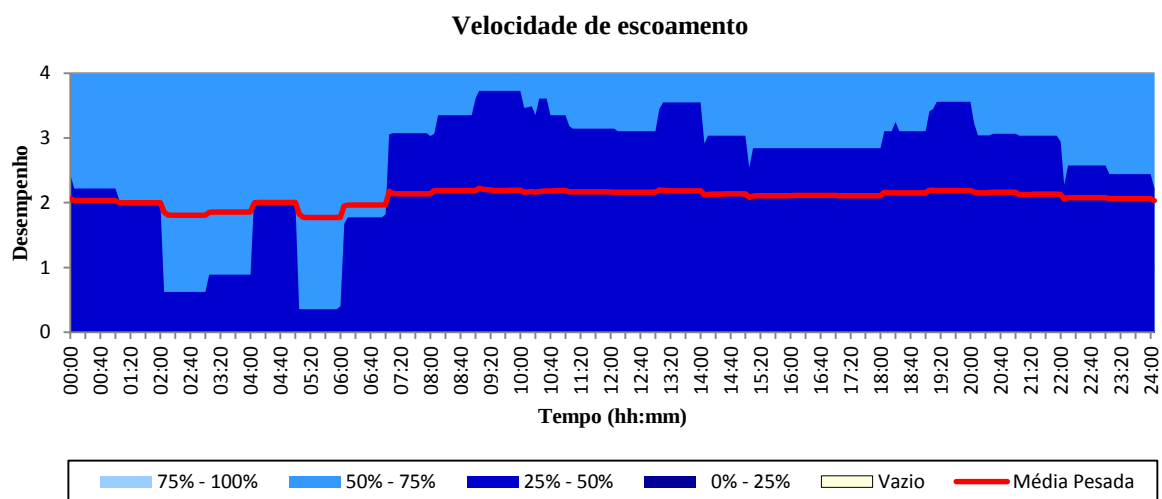


Figura 27 – Exemplo gráfico do desempenho de velocidade de escoamento

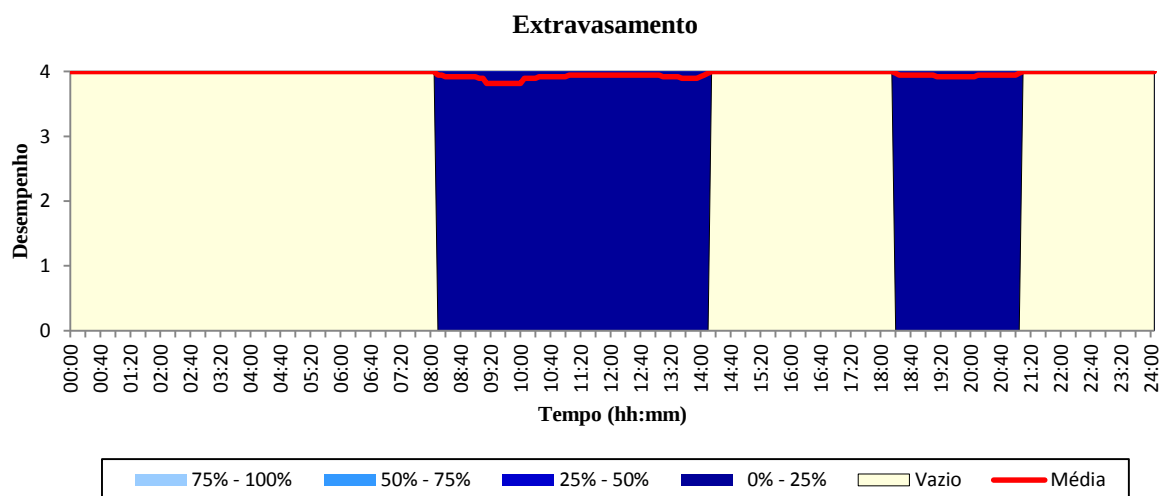


Figura 28 – Exemplo gráfico do extravasamento de escoamento

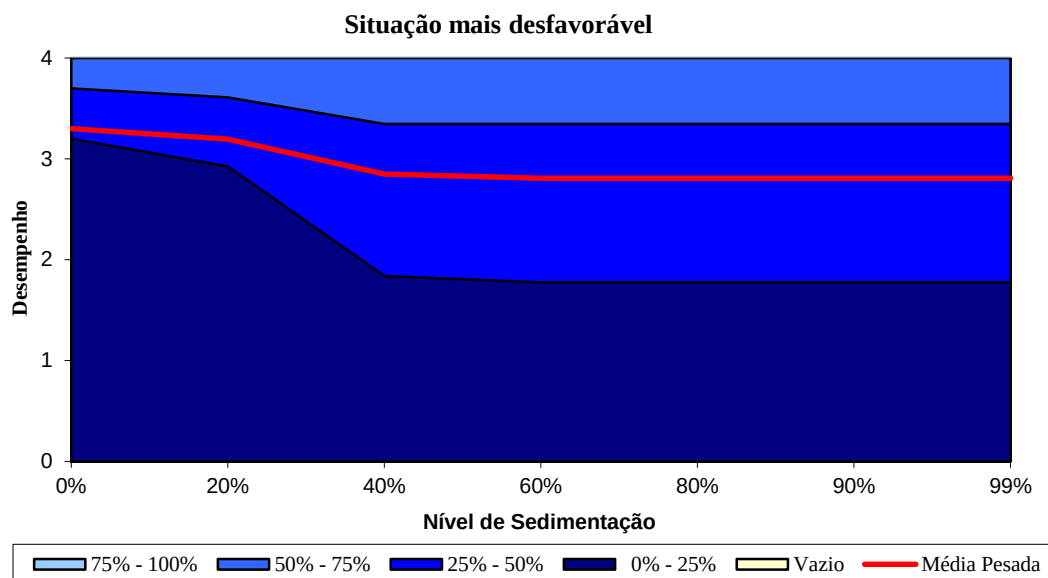


Figura 29 – Exemplo gráfico do desempenho para o cenário mais desfavorável

Desta forma, é apresentada uma curva média pesada e os percentis, que se consideraram de 25% (quartis). Estes percentis são calculados a partir da população dos valores elementares de desempenho e devem ser lidos da seguinte forma: se (x,y) são as coordenadas de um dado ponto na curva do percentil Pc%, tal significa que, para um fator de carga ou para um nível de sedimentação ou para um instante x, a percentagem de coletores com um desempenho menor ou igual a y é Pc%. As bandas dos percentis fornecem uma ideia da dispersão dos valores ao longo de todo o sistema e, quando comparados com a curva média pesada, permitem obter um significativo ganho de informação (Cardoso, 2008).

A interpretação das Figuras 26 à 29 podem ser feitas de acordo com o Quadro A.3 no Anexo 1. As principais vantagens deste sistema de avaliação de desempenho são (Cardoso, 2008):

- Existência de um quadro comum que permite medir e comparar o desempenho de diferentes pontos de vista;
- Produção de gráficos de desempenho sintéticos que condensam a informação relevante do funcionamento dos sistemas, qualquer que seja a sua dimensão, obtida geralmente através de uma grande quantidade de dados, permitindo efetuar de uma forma rápida, comparações e análises da evolução ao longo do tempo;

- Produção de informação de desempenho com potencialidade para ser utilizada na avaliação multicritério com aplicação quer em algoritmos de otimização do desempenho quer no apoio à decisão.

3.5.4 Avaliação da importância de componentes

Após a avaliação de desempenho global do sistema foi necessário determinar a importância do componente relativamente aos coletores. Nesta metodologia foi adotada uma classificação de importância de componentes inversamente proporcional aos valores de desempenhos calculados, de forma a atribuir um nível de importância maior e menor, a coletores que apresentam um impacto maior e menor na redução do desempenho global do sistema, respetivamente.

A classificação convencional de importância de componentes aqui estabelecida é a seguinte:

- ]3;4] – Baixa
- ]2;3] – Média
- ]1;2] – Elevada
-  [0;1] – Muito elevada

Exemplificando, um coletor que tenha uma importância baixa, significa que alterações nesse coletor através de obstrução, tem um impacto reduzido no desempenho global do sistema, compreendido entre 3 e 4. O mesmo aplica-se à restante classificação da importância de componentes.

3.5.5 Identificação de componentes críticos do sistema

Com base nos resultados da sistematização da importância de componentes é importante identificar as deficiências de desempenho e as causas subjacentes, assim como o seu impacto relativo, por forma a desenvolver e estabelecer uma base de partida para o desenvolvimento das soluções apropriadas e estabelecer as prioridades de intervenção. Com base nos resultados da avaliação, importa desenvolver e avaliar soluções integradas com potencial para melhorar o desempenho e cumprir as metas e requisitos estabelecidos, tendo em conta cenários de desenvolvimento futuro. Após a avaliação comparativa das soluções pode-se proceder à preparação do plano de ação.

A etapa de desenvolvimento de soluções integradas destina-se a identificar soluções corretivas possíveis, incorporando uma visão global do sistema e abarcando as diferentes vertentes, conforme adequado. O efeito das soluções na melhoria do desempenho do sistema poderá ser avaliado seguindo a mesma metodologia já descrita. De seguida apresentam-se algumas soluções de reabilitação, identificando-se as vertentes onde poderão contribuir para a melhoria de desempenho, tendo por base a norma EN 752:2008:

- Maximização do uso da capacidade de escoamento existente:
 - Remoção de limitações ao escoamento;
 - Limpeza de coletores e câmaras de visita.
- Minimização de afluências ao sistema:
 - Desvio de caudais pluviais para a rede de drenagem natural;
 - Desvio de caudais para outros sistemas ou subsistemas;
 - Melhoria da estanquidade do sistema;
 - Redução das afluências indevidas.
- Aumento da capacidade de escoamento:
 - Substituição por componente de maior capacidade;
 - Construção de coletores adicionais;
 - Renovação de coletores existentes.
- Aumento da frequência de limpeza dos componentes

Em alguns casos é adequado propor e avaliar alternativas de atuação operacionais no âmbito do plano de reabilitação. Entre as quais, destacam-se aspetos de planeamento de inspeções, de ações de limpeza de coletores e de ajuste das frequências de manutenção de equipamentos.

A atuação preventiva na reabilitação e o estudo proposto nesta dissertação, permitem a deteção atempada das situações críticas, desde logo atuando de modo a evitar situações de elevado risco. Esta deteção é feita principalmente através de inspeção da infraestrutura. A execução de planos de inspeção adequados é essencial à concretização de uma atuação preventiva. O planeamento das atividades de inspeção destina-se a estabelecer quando, onde e como inspecionar. A interpretação de resultados deve ser feita conjuntamente com a informação obtida das áreas em estudo, dados de inspeções e testes que tenham sido efetuados.

3.6 Representação em SIG

Os sistemas de informação geográfica (SIG) são sistemas que permitem armazenar, representar, analisar, processar e visualizar dados e informação geográfica. Assim, no SIG associam-se as estruturas de bases de dados a ferramentas de visualização espacial. Os SIG incorporam a componente geoespacial dos dados, ou seja, a localização dos mesmos, permitindo associar diferentes tipos de dados, como sejam, características dos componentes da infraestrutura, informação operacional (*e.g.*, importância de componentes, dados sobre falhas em coletores, intervenções de reparação, licenciamentos de novas ligações, dados de inspeção, dados de qualidade da água, dados de medição de variáveis hidráulicas), informação sobre o desempenho, entre outros.

Existem diversos tipos de SIG, sendo uns mais versáteis e outros mais orientados para aplicações específicas. Uma das vantagens dos SIG é a possibilidade de se trabalhar com mapas dinâmicos, com incorporação da informação em camadas, o que permite a visualização da informação representada a diferentes escalas e níveis de pormenor. Adicionalmente, facilitam os procedimentos de geração de dados para outras aplicações, como sejam os modelos matemáticos do comportamento hidráulico dos sistemas de águas residuais e pluviais, bem como a representação espacial de resultados.

Nesta fase procede-se a uma nova reorganização dos resultados com recurso ao Microsoft Excel para que seja possível inserir os dados relativamente à importância de componentes em *software* SIG. Este processo consiste em desenhar e georreferenciar todo o sistema de drenagem de águas residuais domésticas e identificar através de cores, quais os coletores críticos e câmaras de visita que dão origem a inundações, um exemplo dessa aplicação pode ser observado na Figura 30. A escala utilizada para classificar a importância de componentes é a que se apresenta em 3.5.4, sendo a classificação de cores a seguinte:

- ]3;4] – Baixa
- ]2;3] – Média
- ]1;2] – Elevada
-  [0;1] – Muito elevada
-  – Ligação indevida (não classificada)

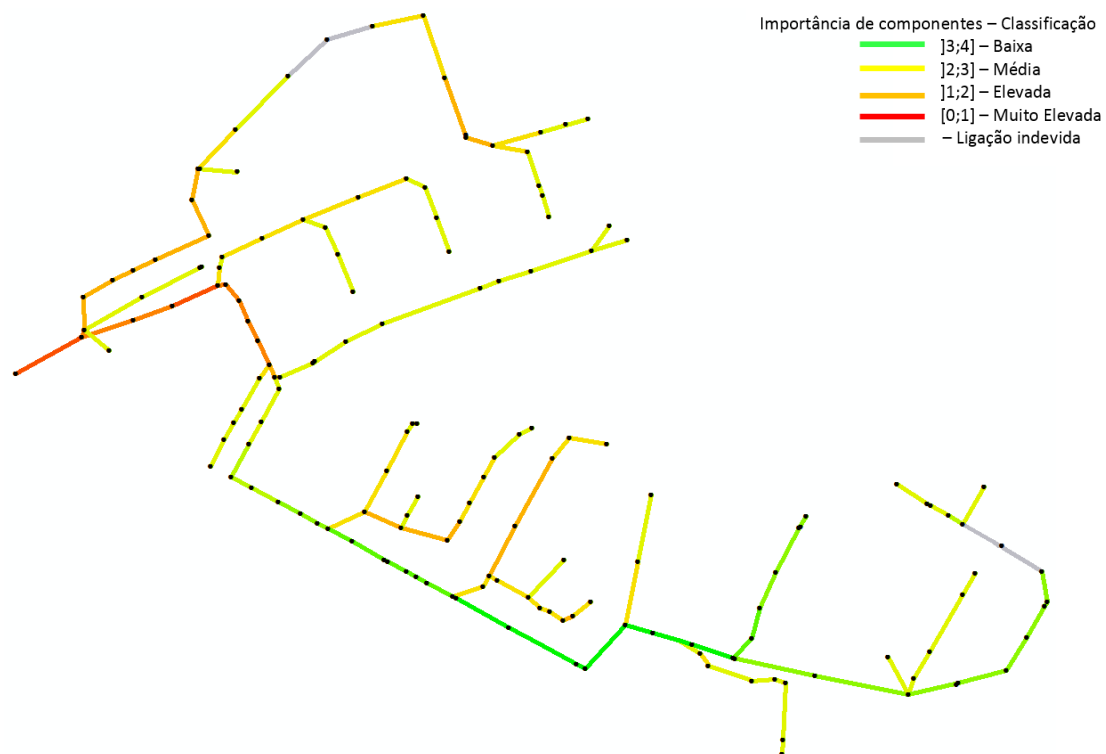


Figura 30 – Representação em SIG da importância de componentes num sistema de drenagem

4 CASO DE ESTUDO – SIMAS DE OEIRAS E AMADORA

4.1 Descrição dos serviços

Os SIMAS (Serviços Intermunicipalizados de Água e Saneamento) são responsáveis pelo fornecimento dos serviços de adução, tratamento e distribuição de água potável; a receção e drenagem de esgotos e a construção, ampliação e conservação da rede de água e esgotos, estações elevatórias e estações de tratamento de águas residuais. Esta entidade serve 350 000 habitantes dos municípios de Oeiras e Amadora, com áreas respetivas de 46 km² e 24 km², que se inserem na área metropolitana de Lisboa. Trata-se de uma entidade pública, com autonomia administrativa e financeira.

4.2 Descrição dos sistemas de águas residuais e pluviais

O sistema de águas residuais dos concelhos de Oeiras e Amadora entrega os efluentes para tratamento nos sistemas da SANEST e SIMTEJO. As bacias da Laje, Barcarena, Jamor, Junça e Porto Salvo, no concelho de Oeiras, entregam as águas residuais no sistema da SANEST, para tratamento na ETAR da Guia. As bacias de Algés, no concelho de Oeiras, e da Falagueira, no concelho da Amadora, entregam as águas residuais no sistema da Simtejo, para tratamento na ETAR de Alcântara. As águas residuais da bacia do Rio da Costa são entregues no sistema da Simtejo e tratados na ETAR de Frielas.

O sistema de águas residuais é constituído por uma rede de coletores com uma extensão de 812 km, 5 estações elevatórias e 32 568 câmaras de visita no concelho de Oeiras e uma extensão de 435 km de rede de coletores e 15 472 câmaras de vista no concelho da Amadora, totalizando em ambos os concelhos 1 248 km. É um sistema privilegiadamente separativo, como se pode observar no Quadro 8.

Quadro 8 – Extensão do tipo de coletores (Cardoso *et al.*, 2013)

Tipo de coletores	Extensão (m)	
	Oeiras (m)	Amadora (m)
Domésticos	409 385	183 564
Pluviais	402 766	170 809
Unitários	310	81 457

4.3 Seleção e descrição do caso de estudo

A importância do investimento em substituição de redes é revelada no diagnóstico realizado pela entidade gestora aos sistemas, pois é necessário reduzir a existência de aflúências indevidas ao sistema doméstico de águas residuais, que se reflete na ocorrência de inundações e no aumento de caudal de efluente entregue para tratamento.

No âmbito do projeto AWARE-P foi estudada a bacia da Venteira por ser a bacia mais antiga inserida na bacia do Jamor, estar sujeita a faturação, o SIG apresentar um cadastro com um grau de fiabilidade significativo para a zona a estudar e a existência de inspeções CCTV (closed - circuit television) realizadas em vários troços da sub-bacia. Identificaram-se diversos problemas relacionados com a deficiente condição estrutural de coletores, intrusão de raízes em algumas áreas, descargas para o meio recetor, ligações cruzadas entre os sistemas separativos doméstico e pluvial. Tendo em conta as características identificadas e o diagnóstico efetuado, selecionou-se a bacia da Venteira por se enquadrar nos objetivos pretendidos do trabalho e já existir informação que permita aplicar e testar a metodologia.

A bacia da Venteira (Figura 31) possui um sistema separativo, drenando efluentes de 4 214 habitantes, numa área urbanística heterogénea de 12,4 hm², englobando um mercado, escolas primárias, uma clínica e restaurantes. O seu sistema de drenagem de águas residuais tem uma extensão de 3,4 km e 256 ramais, tendo como local de entrega um emissário da SANEST e a rede de águas pluviais, com cerca de 3,5 km, descarrega numa linha de água.



Figura 31 – Bacia da Venteira (Wikipédia, 2014 e Camacho *et al.*, 2012)

Nas Figuras 32 e 33, apresentam-se as distribuições de coletores domésticos e pluviais, por material e diâmetro, respetivamente.

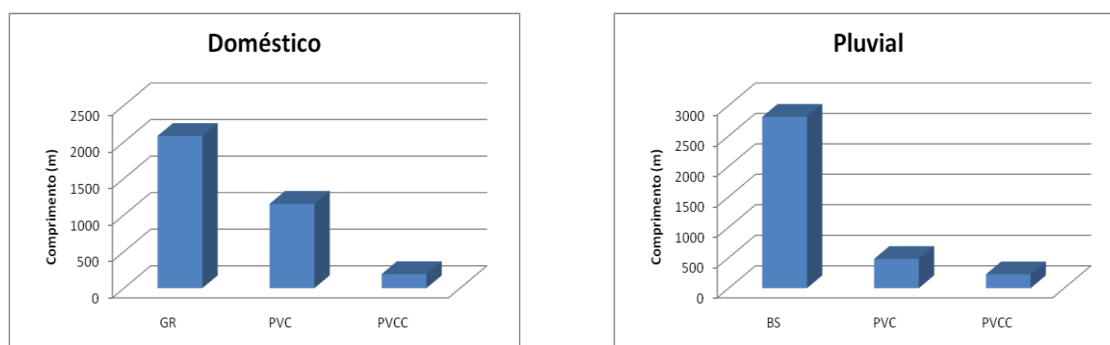


Figura 32 – Distribuição de materiais por sistema (GR – Grés; PVC – Policloreto de Vinilo; PVCC – Policloreto de Vinilo Corrugado; BS - Betão) (Camacho *et al.*, 2012)

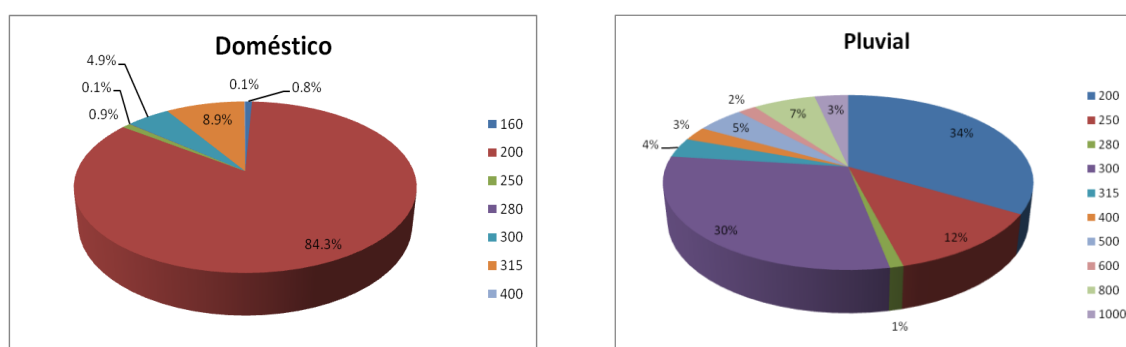


Figura 33 – Distribuição de diâmetros por sistema (Camacho *et al.*, 2012)

4.4 Modelação matemática da bacia da Venteira

O modelo matemático da bacia da Venteira foi construído no programa SWMM a partir da informação cadastral fornecida pela SIMAS O&A e foram incluídos todos os troços e câmaras de visita, com exceção dos troços considerados como ligações indevidas. O modelo é constituído por 148 troços, 153 nós, sendo um nó considerado como emissário. Nas Figuras 34 e 35 apresentam-se a planta e um perfil longitudinal do sistema modelado, respetivamente.

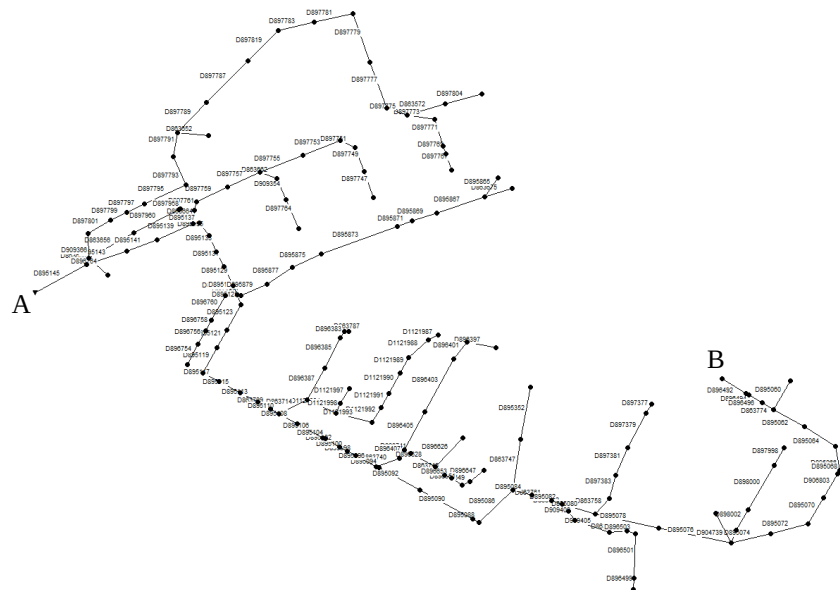


Figura 34 – Planta do modelo do sistema de águas residuais domésticas da bacia da Venteira.

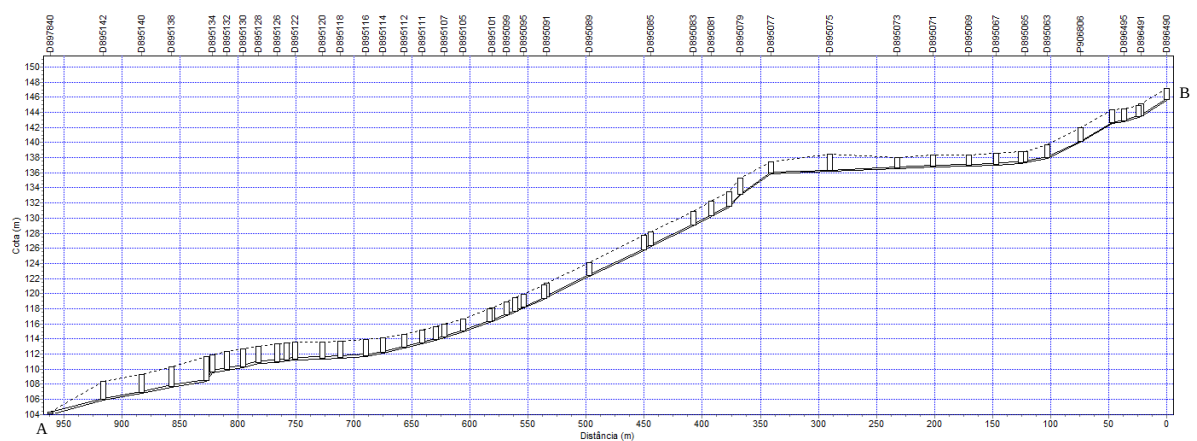


Figura 35 – Perfil longitudinal A-B do modelo do sistema de águas residuais domésticas da bacia da Venteira.

Na aplicação da metodologia proposta para a avaliação da importância de componentes apenas foi utilizada a informação da caracterização do sistema em análise e os resultados das simulações correspondentes aos cenários de sedimentação e afluências estabelecidos em 3.4.3. No Quadro A.1 do Apêndice 1 apresentam-se os dados do sistema de águas residuais domésticas utilizados para a avaliação da importância de componentes.

A simulação do comportamento hidráulico do sistema da Venteira foi feita de acordo com o estabelecido em 3.4.3 e 3.4.4, com base em diferentes cenários de afluências ao sistema, nomeadamente:

- Fatores de carga (fc) de 1, 2, 4, 8 e 16 aplicados ao caudal médio de tempo seco (Q_{mts});
- Níveis de sedimentação de 20%, 40%, 60%, 80%, 90% e 99% para cada coletor;
- 1 dia de simulação em tempo seco, seguindo um padrão diário, com um caudal médio correspondente a um fator de carga (fc) de 1, cujo hidrograma se encontra representado na Figura 36, situação de funcionamento regular do sistema;

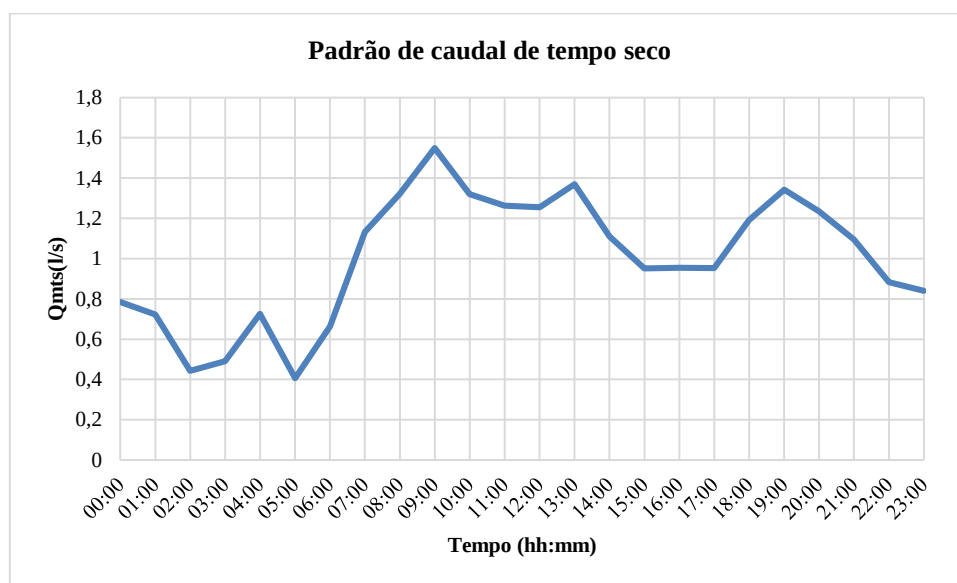


Figura 36 – Hidrograma padrão de caudal médio de tempo seco

4.5 Avaliação de desempenho

A utilização do sistema de drenagem do SIMAS O&A tem o objetivo de testar a metodologia proposta nesta dissertação, tendo em consideração a importância de componentes. Para a elaboração dos gráficos de desempenho do sistema em análise foram tidas em consideração várias etapas. Inicialmente, com base nos resultados de cada simulação, ou seja, para cada fator de carga e nível de sedimentação, foi calculado o desempenho do sistema para cada coletor, recorrendo às funções de desempenho representadas nas Figuras 22, 23 e 24. Seguidamente, determinou-se o peso de cada coletor, de acordo com as respetivas funções de generalização apresentadas no Quadro 7. Posteriormente, calculou-se a média pesada do desempenho do sistema através do somatório, para todos os coletores, do produto do desempenho pelo respetivo peso.

Finalmente, ordenando os valores de desempenho por ordem decrescente e calculando, assim, os pesos acumulados, determinaram-se os percentis (0%, 25%, 50%, 75% e 100%). Estes percentis são determinados a partir do conjunto de valores calculados pelas simulações, para toda a rede de drenagem e para cada tipo de cenário. Nos cenários utilizados, exceto o de base ($f_c = 1$) que corresponde ao sistema limpo e desobstruído, consideram-se os desempenhos mínimos das médias pesadas do sistema, que traduzem a possibilidade de ocorrência de extravasamento e entrada em carga de coletores para a situação mais desfavorável.

4.5.1 Fase 1 – Resultados para o cenário base

Nesta fase serão representados os resultados gerais do desempenho do sistema, considerando nesta avaliação as variáveis: altura de escoamento, extravasamento e velocidades mínima e máxima de escoamento para os cenários considerados em 3.4.3 e 3.4.4, respetivamente. Os resultados apresentados nas Figuras 37 à 40 aplicam-se ao cenário base, ou seja, ao sistema de drenagem inicialmente limpo e para um fator de carga unitário. Pretende-se com esta abordagem avaliar o desempenho do sistema relativamente à capacidade hidráulica do sistema, ocorrência de extravasamento e condições hidráulicas favoráveis ao assoreamento nos coletores, para as variáveis atrás mencionadas. O eixo dos X representa a gama dos fatores de carga de 1, 2, 4, 8 e 16, aplicados ao caudal médio de tempo seco, e o eixo dos Y, os níveis de desempenho médios pesados do sistema global.

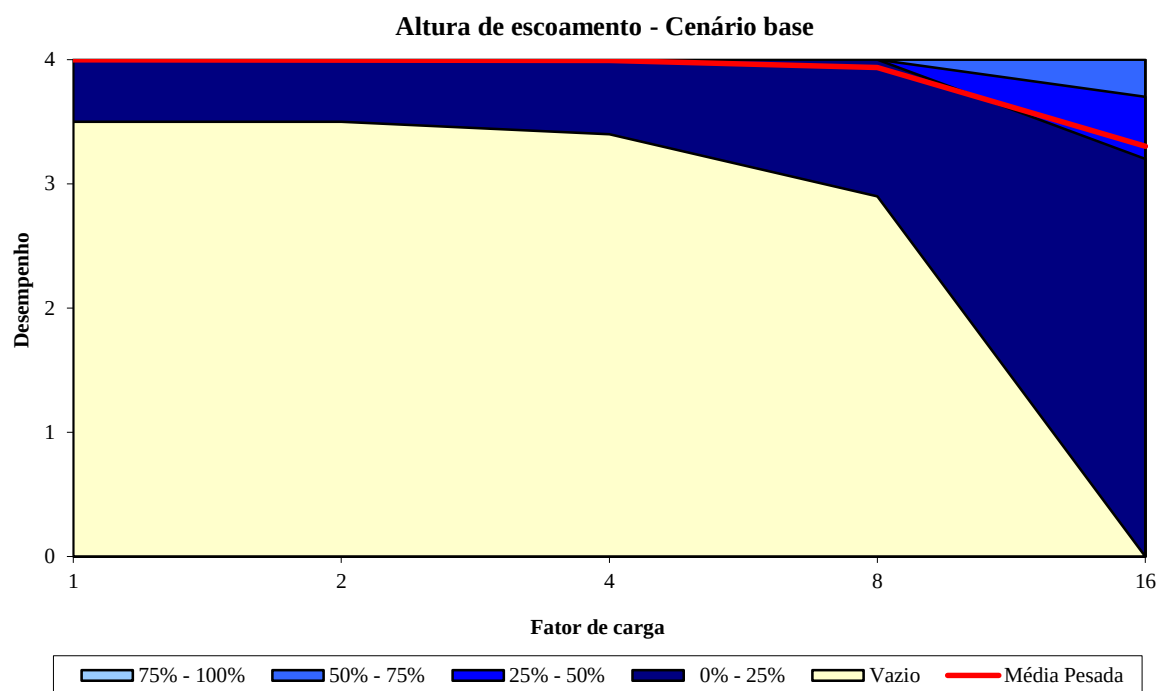


Figura 37 – Desempenho da altura de escoamento para o cenário base

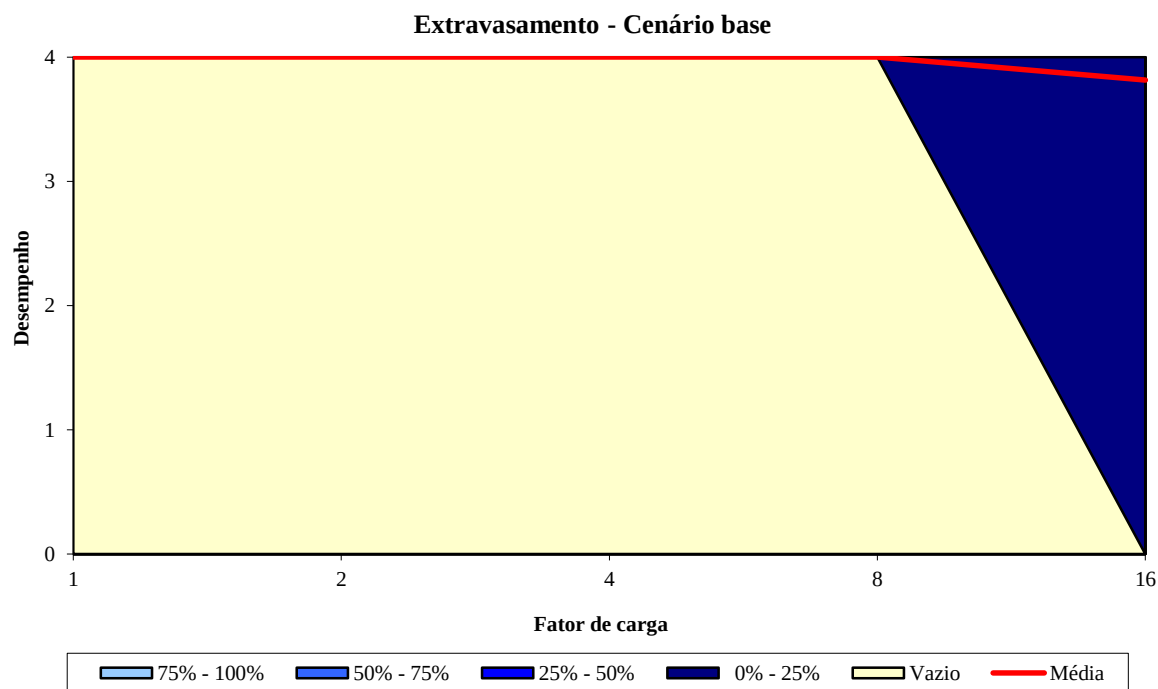


Figura 38 – Extravasamento do sistema para o cenário base

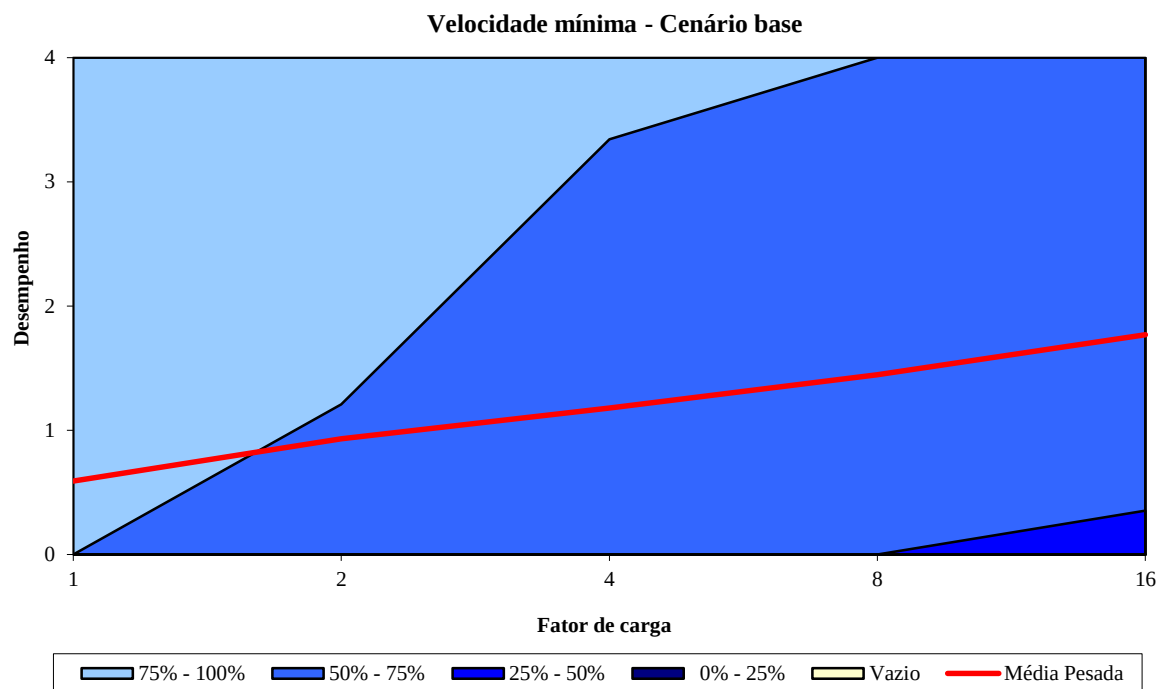


Figura 39 – Desempenho da velocidade mínima de escoamento para o cenário base

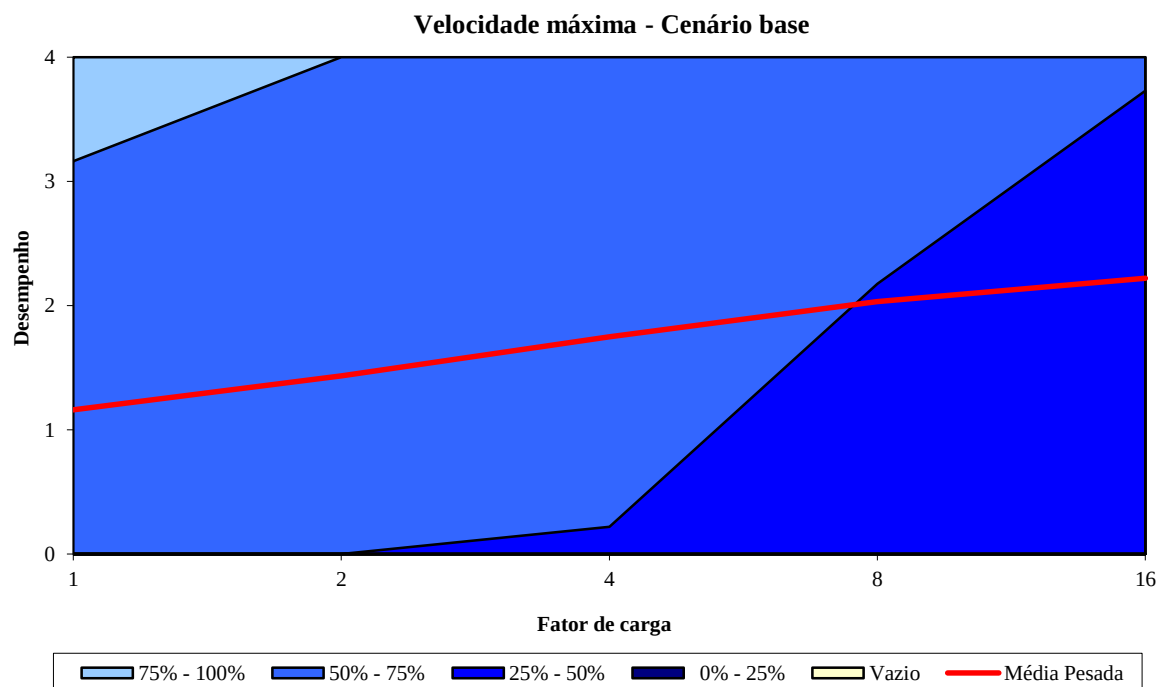


Figura 40 – Desempenho da velocidade máxima de escoamento para o cenário base

Analisando o gráfico de sistema da altura de escoamento da Figura 37, pode dizer-se que o desempenho médio apresenta um comportamento normal, demonstrando que até um fator de carga 4 o sistema atinge um desempenho muito próximo do ótimo (4) e um desempenho

bom (3) para o fator 8, decrescendo até zero para o fator de carga 16. Este sistema aparenta estar sobredimensionado, observando-se que todos os coletores se encontram numa situação entre o bom (3) e o ótimo (4) até um fator de carga 8. Embora o desempenho médio se mantenha entre o bom e o ótimo para todos os fatores de carga, verifica-se ocorrência de entrada em carga (desempenho inferior a 2, correspondente à secção cheia) e de extravasamento (desempenho igual a zero) de alguns coletores e câmaras de visita do sistema de drenagem, conforme indicado na Figura 38.

A banda do percentil 25% é a que apresenta maior dispersão, indicando que para um fator de carga superior a 8 existe um reduzido número de coletores que causam problemas no sistema. A curva da média pesada encontra-se abaixo do percentil 50% até um fator de carga 8, transmitindo que os valores de desempenho mais baixos são devido a problemas que afetam um reduzido número de coletores importantes. Para o fator 16, a curva da média pesada encontra-se na banda do percentil 50% e os desempenhos mais baixos devem-se a problemas generalizados no sistema. De acordo com a análise dos gráficos das Figuras 37 e 38, confirma-se que o sistema não apresenta problemas de capacidade hidráulica até um fator de carga 8, em especial condições de afluências domésticas expectáveis.

Relativamente às velocidades mínimas de escoamento, e analisando o gráfico de sistema representado na Figura 39, pode-se dizer que o sistema apresenta velocidades mínimas e desempenhos médios inaceitáveis, conforme indicado em 3.5.2. A curva de desempenho é ascendente para todos os fatores de carga mas não o suficiente para atingir os limites mínimos recomendados regulamentarmente ($1,5V_{\min}$), mesmo em situações de fatores de carga elevados. No caso de velocidades máximas de escoamento, o gráfico da Figura 40 traduz também velocidades máximas inaceitáveis até um fator de carga 4. A curva de desempenho também é ascendente ao longo de todos os fatores de carga e só a partir do fator de carga 8, inclusive, é que o sistema apresenta velocidades aceitáveis, mesmo sendo inferiores ao mínimo recomendado.

O sistema apresenta um comportamento expectável, visto tratar-se de um sistema de drenagem aparentemente sobredimensionado e desta forma propício a problemas de deposição de sedimentos e degradação da qualidade da água no interior do sistema. As bandas são largas e crescentes, significando que a maior parte do sistema apresenta um comportamento heterogéneo relativamente à velocidade de escoamento, ou seja, é apresentada uma grande variabilidade de níveis de desempenho para diferentes partes do sistema como consequência da

grande dispersão de valores de desempenho e da utilização de vários fatores de carga. Com o aumento do fator de carga o sistema aparenta ter melhor resposta da velocidade de escoamento, face às condições iniciais.

4.5.2 Fase 2 – Resultados para a situação mais desfavorável

Nesta etapa são também representados mais alguns resultados gerais do sistema, incidindo nas variáveis mencionadas anteriormente, para os cenários de fator de carga e níveis de sedimentação descritos em 3.4.3. Os resultados apresentados nas Figuras 41 à 48 têm como base a situação mais desfavorável avaliada, ou seja, para o estudo deste tipo de sistema importa saber quais são os coletores mais propícios a falhas de serviço, quando impostos a diversos fatores de carga e níveis de sedimentação.

Para todas as variáveis estudadas, exceto a velocidade máxima, para os resultados apresentados foram selecionados os valores mínimos dos desempenhos médios pesados do sistema, resultantes do impacto da obstrução em cada coletor para os fatores de carga e níveis de sedimentação avaliados. Enquanto para a velocidade máxima foram selecionados os desempenhos máximos das médias pesadas. Para cada fator de carga, foram efetuadas 888 simulações completas de 24 horas cada, com caudal constante, correspondente ao produto do caudal médio de tempo seco pelo fator de carga. Na totalidade foram efetuadas 4 440 simulações hidráulicas, cada uma com 3 gráficos de resultados de eventos temporais, uma por cada uma das variáveis selecionadas, o correspondente a 13 320 gráficos de resultados.

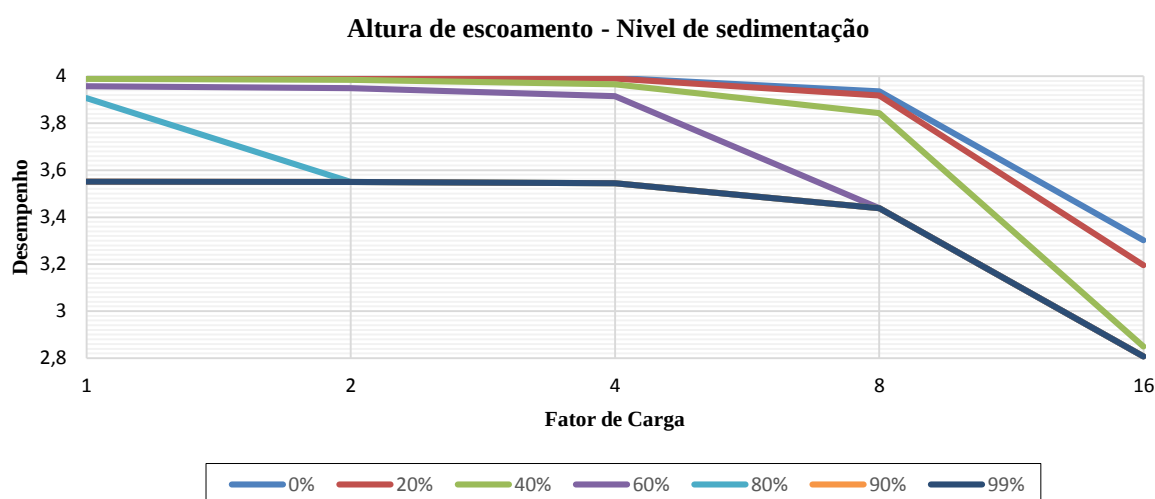


Figura 41 – Desempenho da altura de escoamento para a situação mais desfavorável e diferentes níveis de sedimentação

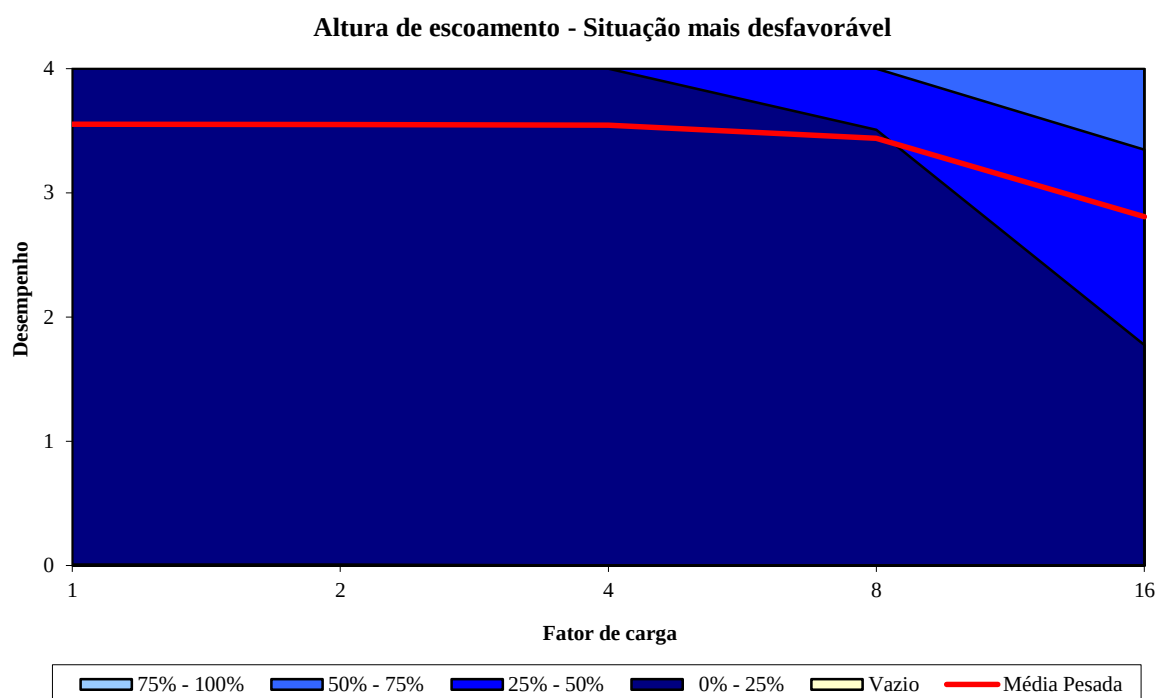


Figura 42 – Desempenho da altura de escoamento para a situação mais desfavorável

Analisando os gráficos de desempenho da altura de escoamento das Figuras 41 e 42, pode dizer-se que as curvas de desempenho médio face aos diferentes níveis de sedimentação apresentam um comportamento expectável, uma vez que o sistema de drenagem se encontra sobredimensionado. Para níveis de sedimentação inferiores a 60% o sistema tem um comportamento semelhante, sendo que o desempenho médio é próximo do ótimo (4) até um fator de carga 8 e decresce ligeiramente para um desempenho médio bom (3) no fator de carga 16. Para a situação de 60%, verifica-se um decréscimo mais acentuado a partir de um fator de carga 4. Nos restantes níveis, o desempenho médio encontra-se entre o bom (3) e o ótimo (4) até um fator de carga 8 e decresce para um desempenho médio bom (3) no fator de carga 16, como demonstrado na Figura 41.

No gráfico da Figura 42, em média, verifica-se a inexistência de entrada em carga dos coletores, uma vez que os desempenhos médios de altura de escoamento são superiores ao limite aceitável (2), embora se verifiquem, no percentil mais baixo, coletores com entrada em carga e a ocorrência de extravasamento para todos os fatores de carga.

Por observação da posição da média e da mediana, os valores de desempenho mais baixos são devido a problemas que afetam um reduzido número de coletores importantes, uma vez que a curva da média pesada se encontra abaixo do percentil 50% até um fator de carga 8. Para o fator de carga 16 a média encontra-se no mesmo patamar que a mediana, indicando que

50% do sistema contribui para um desempenho médio bom (3). A banda do percentil 25% é a que apresenta maior dispersão, indicando que um reduzido número de coletores causam problemas no sistema. Para melhorar significativamente o desempenho global do sistema, seria benéfico uma intervenção localizada nesses coletores.

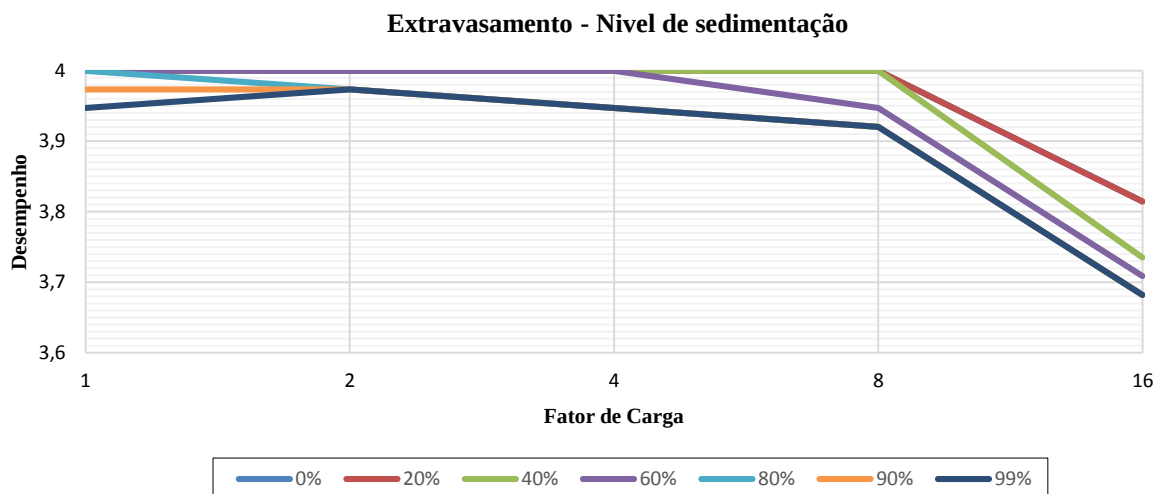


Figura 43 – Extravasamento do sistema para a situação mais desfavorável e diferentes níveis de sedimentação

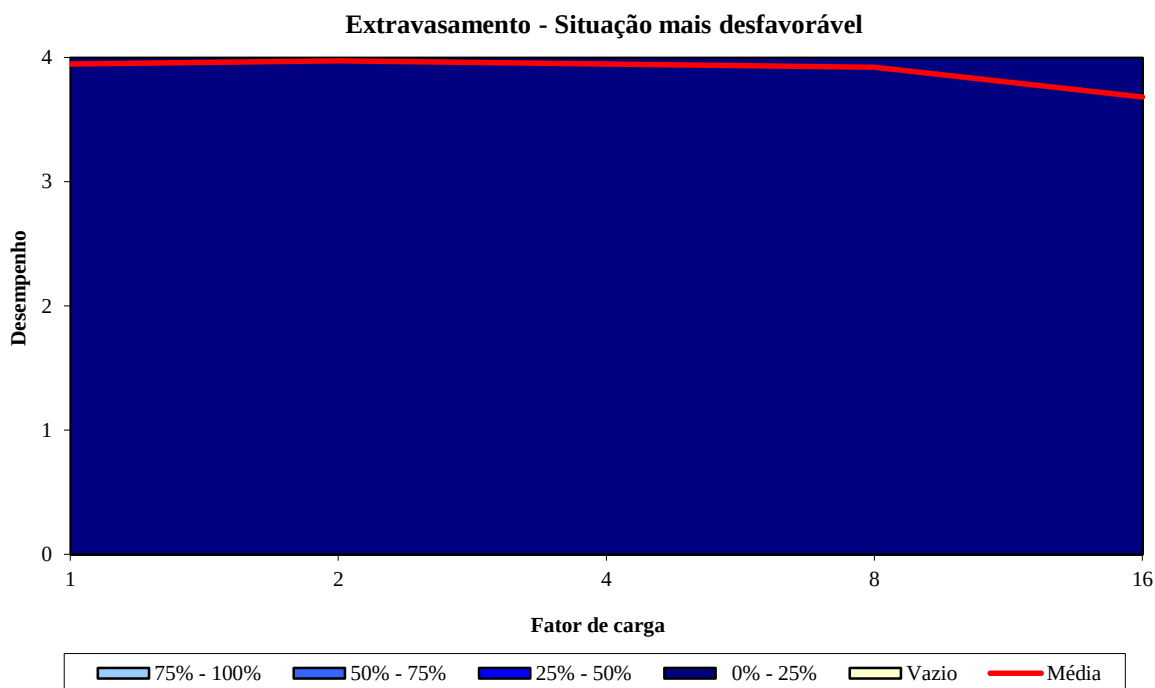


Figura 44 – Extravasamento do sistema para a situação mais desfavorável

O gráfico de avaliação do extravasamento indicado nas Figuras 43 e 44 remete-nos para um maior número de extravasamentos em câmaras de visita com o incremento do fator de carga e níveis de sedimentação impostos ao sistema. A ocorrência de extravasamento afeta um

reduzido número de câmaras de visita, como demonstrado no percentil 25% da Figura 44. O desempenho médio é próximo do ótimo (4) nos fatores de carga de 1 a 8 e é mais acentuado na transição do fator de carga 8 para 16, indicando um maior número de falhas de serviço e sobrecarga hidráulica da rede de escoamento.

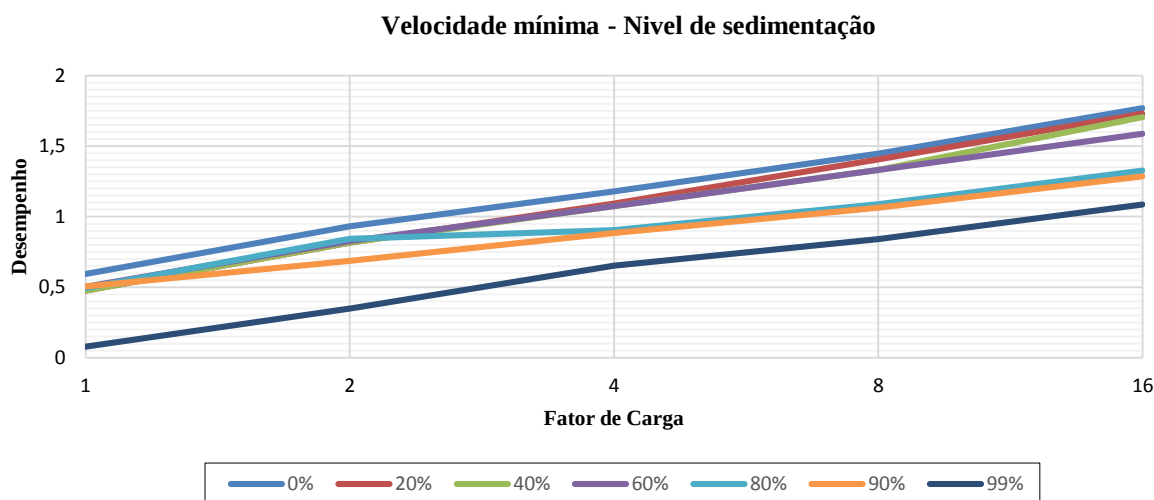


Figura 45 – Desempenho da velocidade mínima de escoamento para a situação mais desfavorável e diferentes níveis de sedimentação

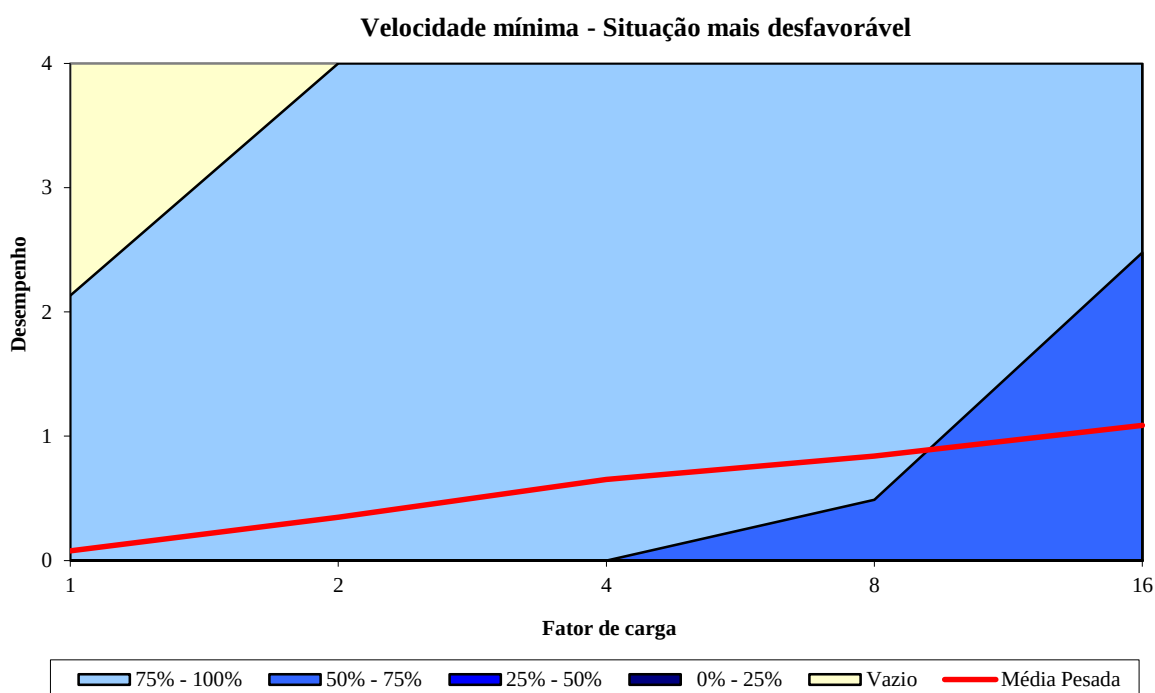


Figura 46 – Desempenho da velocidade mínima de escoamento para a situação mais desfavorável

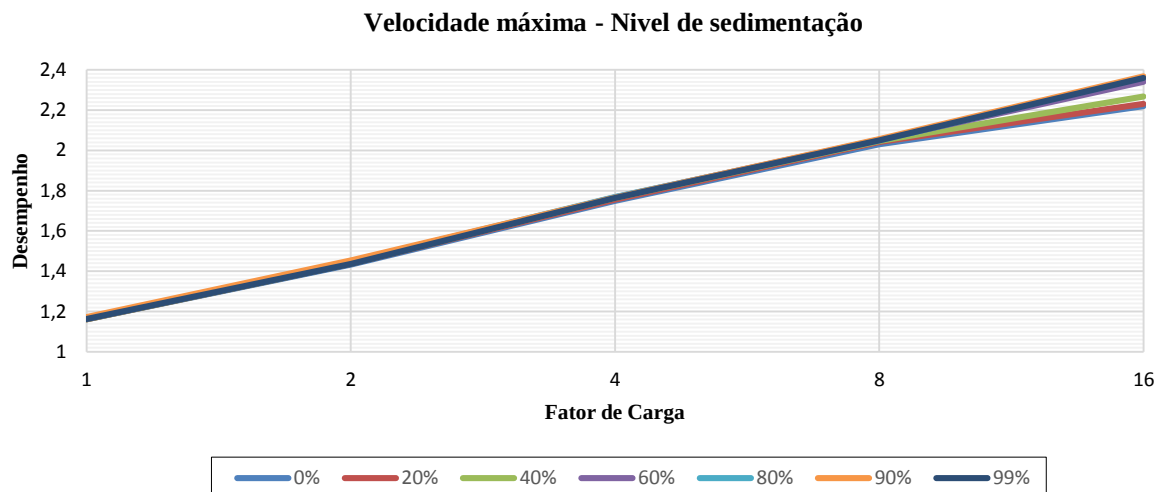


Figura 47 – Desempenho da velocidade máxima de escoamento para a situação mais desfavorável e diferentes níveis de sedimentação

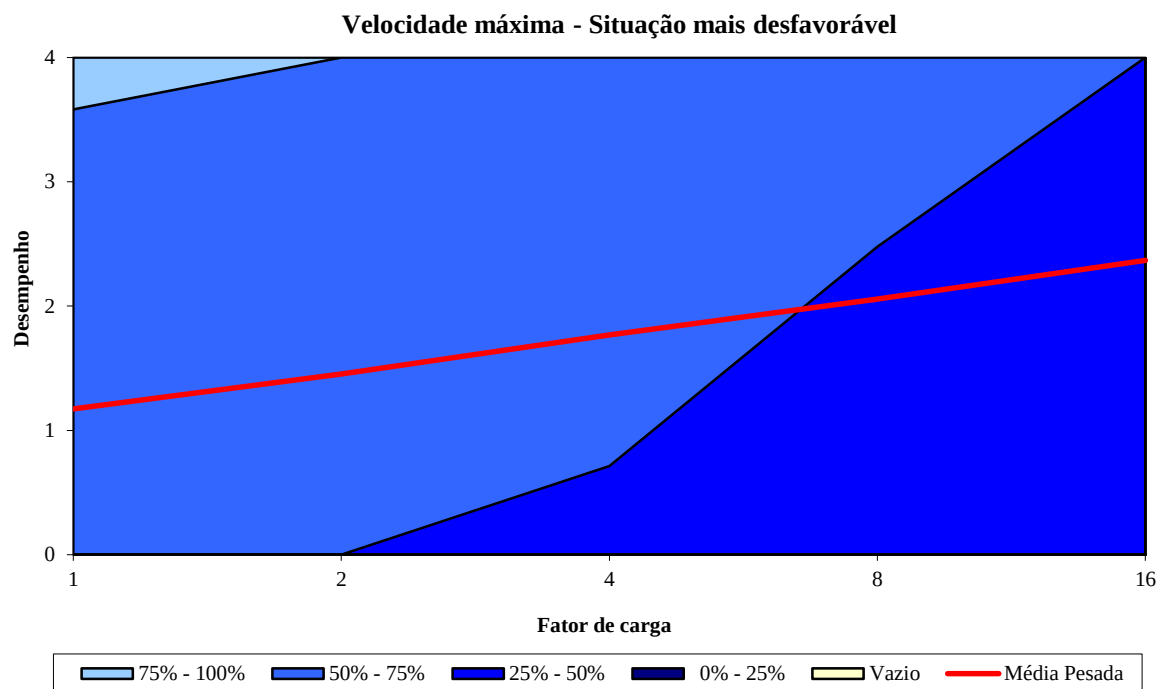


Figura 48 – Desempenho da velocidade máxima de escoamento para a situação mais desfavorável

Quanto ao desempenho médio de velocidades mínimas representadas nas Figuras 45 e 46, pode-se afirmar que o sistema apresenta velocidades e desempenhos médios inaceitáveis. A curva de desempenho médio é semelhante ao descrito na fase 1 e no caso de velocidades máximas de escoamento, os gráficos das Figuras 47 e 48 traduzem também velocidades máximas inaceitáveis até um fator de carga 4. A curva de desempenho também é ascendente ao longo de todos os fatores de carga e só a partir do fator de carga 8, inclusive, é que o sistema

apresenta velocidades aceitáveis. O sistema apresenta mais uma vez, problemas de propensão para a deposição de sedimentos e degradação da qualidade da água no interior do sistema.

As bandas são largas e crescentes, significando que a maior parte do sistema apresenta um comportamento heterogéneo relativamente à velocidade de escoamento. Com o aumento do fator de carga o sistema aparenta ter melhor desempenho da velocidade de escoamento, mas em comparação com o cenário base, o sistema apresenta desempenhos de velocidades inferiores.

4.5.3 Fase 3 – Resultados para situação mais desfavorável ($fc = 8$)

Nesta fase é feita uma análise mais profunda do caso de estudo, para isso foi selecionado como exemplo ilustrativo o fator de carga 8, sendo os resultados dos restantes fatores de carga remetidos para o Apêndice 2. A abordagem feita nesta etapa segue os mesmos princípios gerais apresentados anteriormente, sendo considerado fator preferencial o estudo do impacto do nível de sedimentação no desempenho do sistema global.

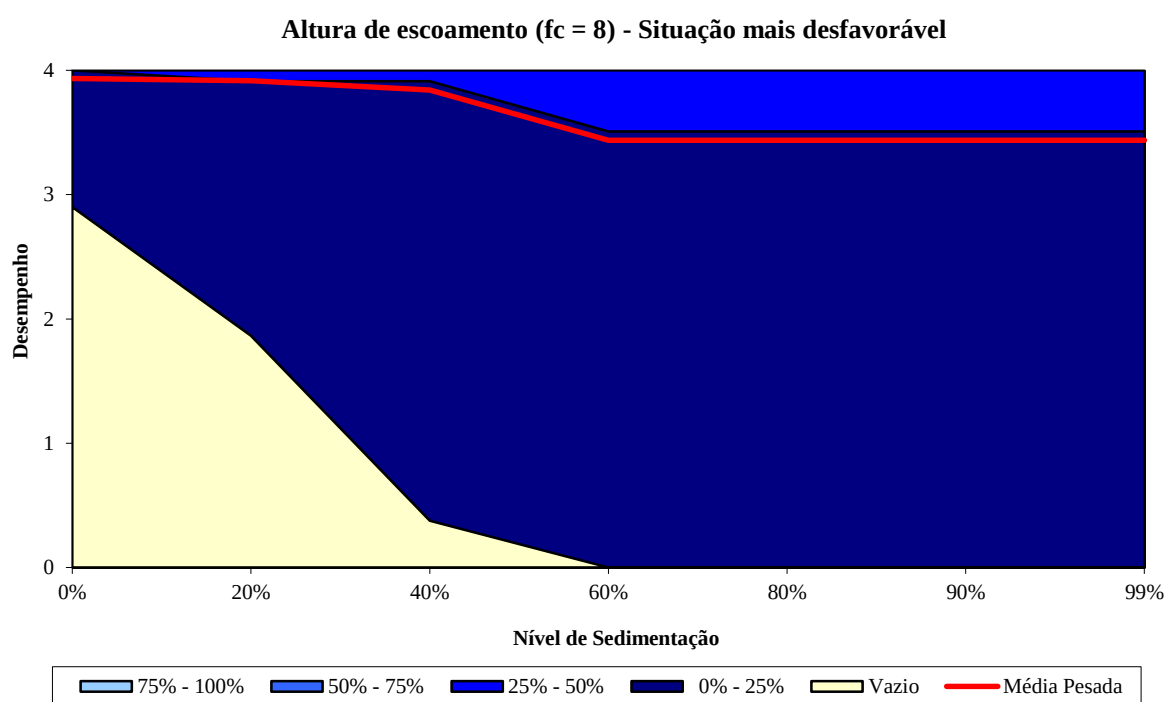


Figura 49 – Desempenho da altura de escoamento para a situação mais desfavorável e um fator de carga 8

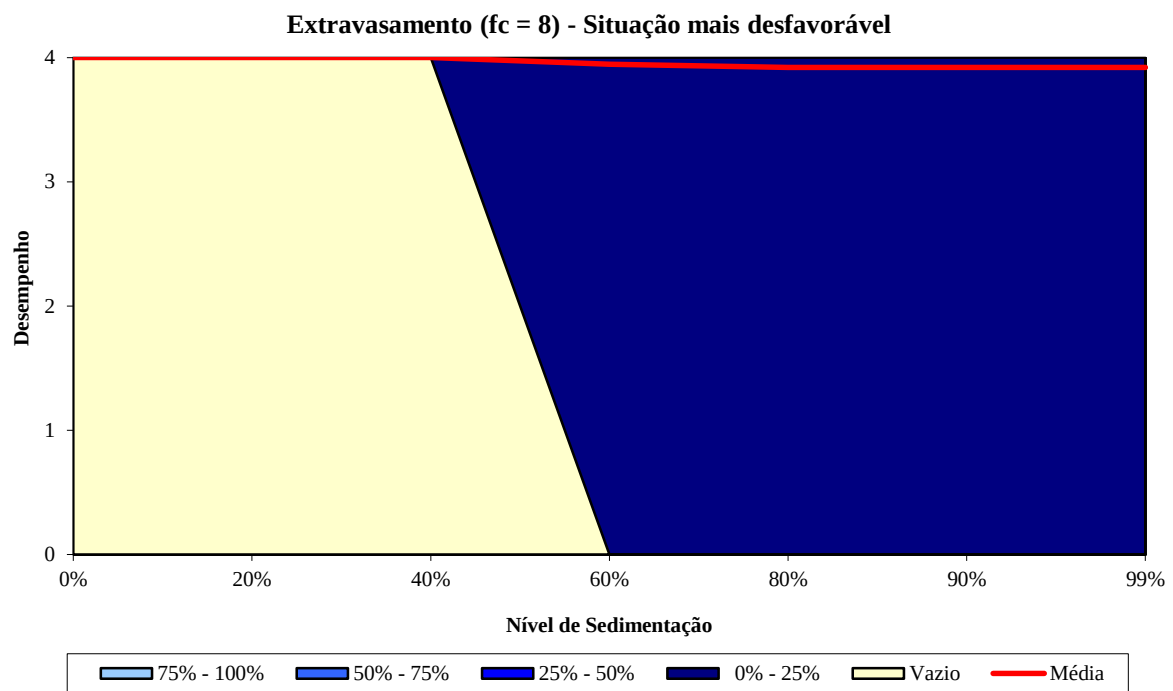


Figura 50 – Extravasamento do sistema para a situação mais desfavorável e um fator de carga 8

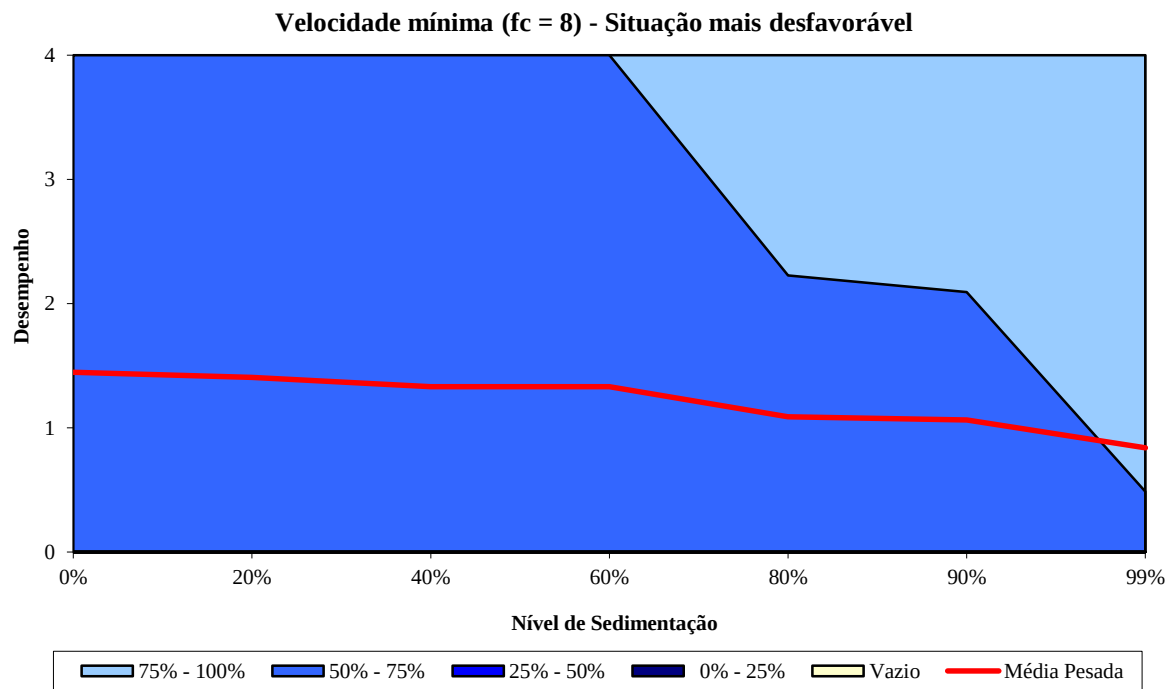


Figura 51 – Desempenho da velocidade mínima de escoamento para a situação mais desfavorável e um fator de carga 8

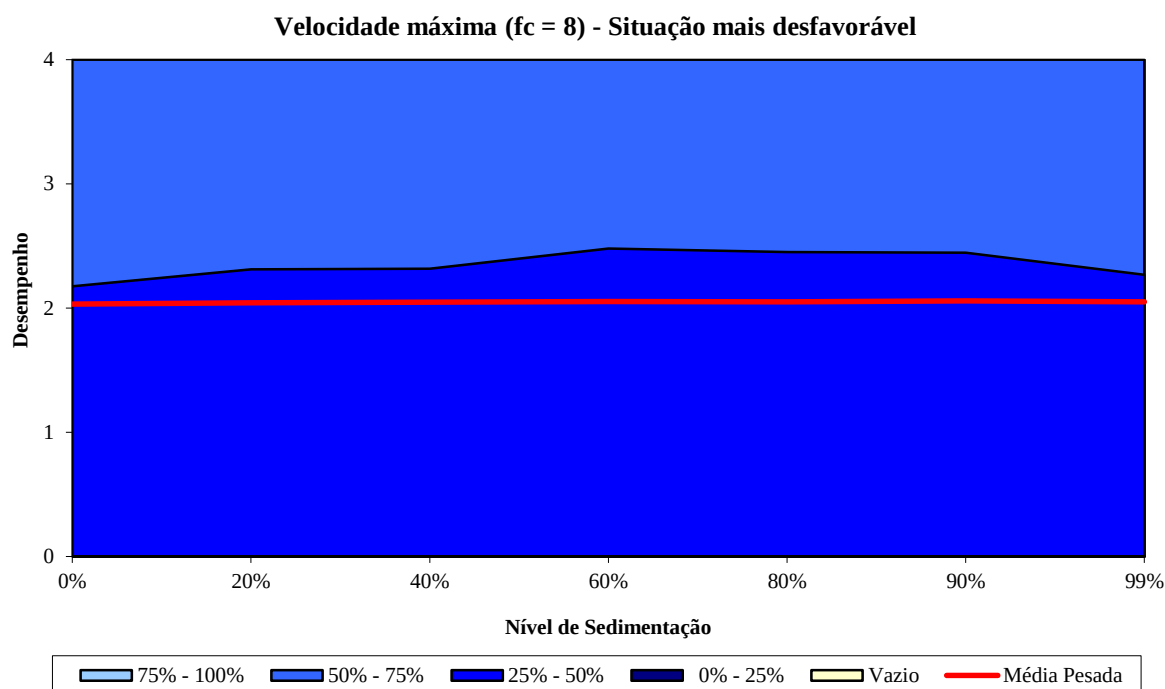


Figura 52 – Desempenho da velocidade máxima de escoamento para a situação mais desfavorável e um fator de carga 8

Analizando o gráfico de desempenho da altura de escoamento da Figura 49, pode dizer-se que o desempenho médio apresenta valores entre o ótimo (4) e bom (3), a curva média é descendente até ao nível de sedimentação de 60% e mantém-se constante para os restantes níveis impostos ao sistema, sendo o decréscimo mais acentuado entre os níveis 40% e 60%. O aumento destes níveis de sedimentação impõe dificuldades ao escoamento, implicando numa quebra de desempenho médio global do sistema através da entrada em carga dos coletores e extravasamento nas câmaras de visita. O escoamento começa a fazer-se sob pressão, em alguns coletores, quando o desempenho apresenta valores inferiores a 2, para um nível de sedimentação de 20% e o extravasamento ocorre quando o desempenho atinge o valor 0 (zero), a partir de um nível de 60%, conforme indicado também na Figura 50.

As bandas são largas e decrescentes, significando que a maior parte do sistema apresenta um comportamento heterogéneo relativamente à altura de escoamento. A curva média encontra-se na banda do percentil 25%, indicando a existência de um número reduzido de coletores importantes com problemas, e que influenciam o desempenho global do sistema. A sua resolução melhoraria significativamente o desempenho do sistema.

A ocorrência de extravasamento afeta um reduzido número de câmaras de visita, como demonstrado no percentil 25% do gráfico da Figura 50. O desempenho médio é ótimo (4) para níveis de sedimentação até 40%, decresce ligeiramente até a um nível de 80% e mantém-se constante até uma obstrução total do coletor, ainda que tenha um valor de desempenho muito próximo do ótimo (4). Sempre que o desempenho médio pesado diminui com o aumento do nível de sedimentação, o sistema deixa de responder aos objetivos para que foi projetado e verifica-se a ocorrência de extravasamento, expondo a população e o meio ambiente a águas poluídas.

A curva de desempenho médio da velocidade mínima, cujo gráfico é apresentado na Figura 51, indica que o sistema apresenta velocidades e desempenhos médios inaceitáveis. A curva de desempenho médio é, regra geral decrescente, tendo desempenhos médios constantes entre 40% e 60% de sedimentação. As bandas são largas e decrescentes, significando que a maior parte do sistema apresenta um comportamento heterogéneo relativamente à velocidade mínima de escoamento, apresentando piores desempenhos médios de velocidade com o aumento dos níveis de sedimentação no sistema.

Por observação da posição da média e da mediana, os valores de desempenho mais baixos são devido a problemas generalizados, uma vez que a curva da média pesada encontrar-se acima do percentil 50%. A banda do percentil 75% é a que apresenta maior dispersão, indicando que 25% dos coletores apresentam um desempenho entre o ótimo (4) e o inaceitável (0) até um nível de sedimentação de 60% e piora até uma obstrução total do coletor.

No caso de velocidades máximas de escoamento, o gráfico da Figura 52, traduz velocidades máximas no limiar do aceitável. A curva de desempenho médio é praticamente constante ao longo de todos os níveis de sedimentação, apesar de sofrer ligeiras subidas. As bandas são largas e constantes, significando que 50% do sistema apresenta um comportamento heterogéneo relativamente à velocidade máxima de escoamento. A curva da média pesada encontra-se na banda do percentil 50% e os desempenhos mais baixos devem-se a problemas generalizados no sistema.

4.5.4 Fase 4 – Avaliação da criticidade dos coletores

Na quarta fase são representados, para um fator de carga 8, os resultados dos coletores que mais influenciam o desempenho de todo o sistema, tendo em consideração as variáveis escolhidas caso a caso. Os gráficos de desempenho para as variáveis estudadas, representados nas Figuras 53 à 56, revelam quais os coletores que influenciam significativamente o comportamento e o desempenho global do sistema. Desta forma pode-se identificar e caracterizar a importância de componentes, tendo como base os desempenhos calculados para o sistema.

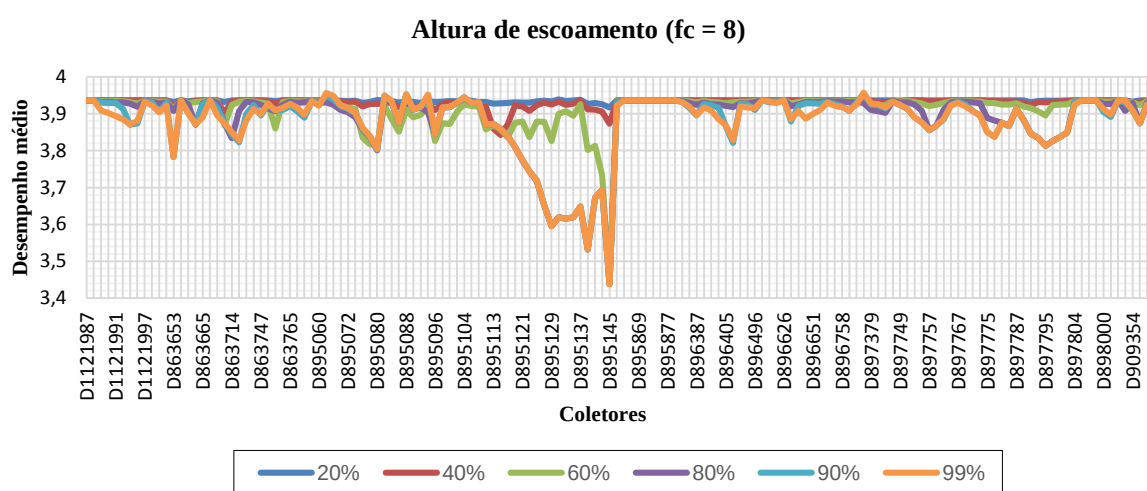


Figura 53 – Identificação de coletores críticos no sistema, avaliando o desempenho da altura de escoamento para um fator de carga 8 e diferentes níveis de sedimentação

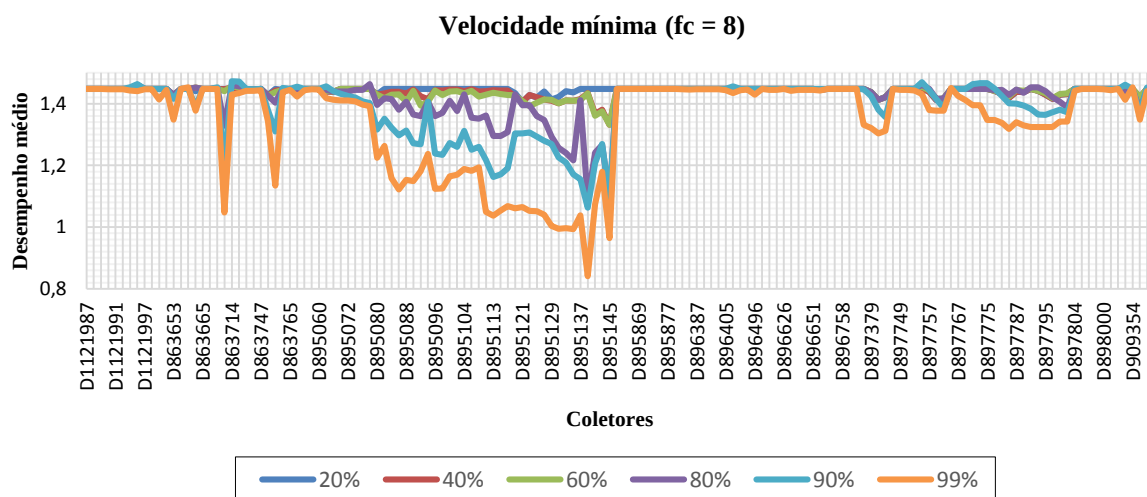


Figura 54 – Identificação de coletores críticos no sistema, avaliando o desempenho da velocidade mínima de escoamento para um fator de carga 8 e diferentes níveis de sedimentação

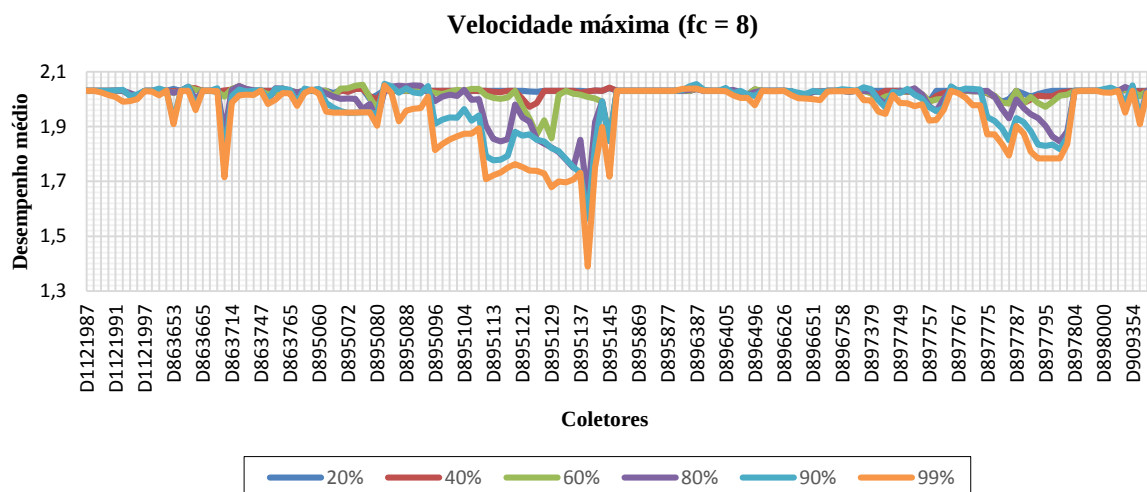


Figura 55 – Identificação de coletores críticos no sistema, avaliando o desempenho da velocidade máxima de escoamento para um fator de carga 8 e diferentes níveis de sedimentação

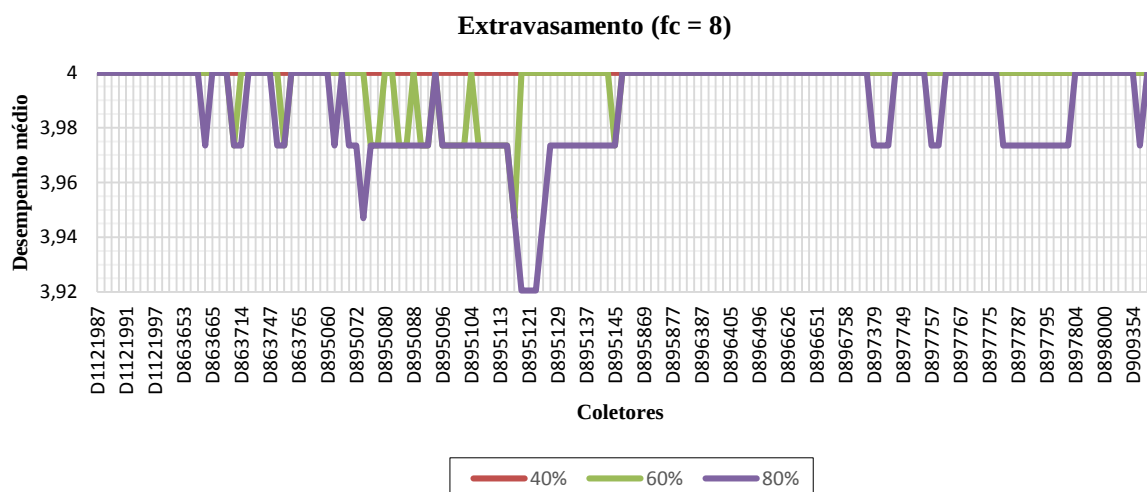


Figura 56 – Identificação de coletores críticos no sistema que causam o extravasamento em câmaras de visita, para um fator de carga 8 e diferentes níveis de sedimentação

Analisando o gráfico de altura de escoamento, representado na Figura 53, pode-se dizer que o coletor que causa maior impacto no desempenho do sistema global é o coletor D895145, sendo aquele que terá uma maior importância ao nível do componente para a variável em causa. A obstrução deste coletor conduz a uma perda significativa de desempenho e entrada em carga dos coletores a montante para níveis de sedimentação superiores a 40%. Contudo, o desempenho médio pesado do sistema mantém-se entre o valor bom (3) e ótimo (4).

Quanto às velocidades mínimas de escoamento, cujo gráfico é representado na Figura 54, e embora não seja possível a representação de todos os coletores na legenda, comprova-se que são os coletores D895139 e D895145 que mais influenciam o desempenho do sistema.

Embora o desempenho médio pesado seja inaceitável para todos os coletores, essa perda é maioritariamente refletida entre os coletores D895078 e D895352 para níveis de sedimentação superiores a 60%. Para velocidades máximas de escoamento, representado na Figura 55, o coletor que mais condiciona a velocidade máxima do sistema global é também o D895139. Neste caso, todo o sistema apresenta um desempenho aceitável até um nível de sedimentação de 40% e um desempenho inaceitável para valores superiores. Como consequência, é visível um menor decréscimo de desempenho médio nos mesmos coletores face ao caso anterior.

A ocorrência de extravasamento representa uma falha grave no sistema e pode ser observado no gráfico de extravasamento da Figura 56. A título de exemplo, para o cenário em estudo foram selecionados apenas três níveis de sedimentação, 80%, 60% e 40%, correspondendo os dois primeiros à ocorrência extravasamento no sistema e último não. Pode-se constatar que existe extravasamento em várias câmaras de visita para um nível de sedimentação de 80%, sendo os coletores D895119, D895121 e D895123 maioritariamente responsáveis pelo decréscimo do desempenho global do sistema. Embora ocorram extravasamentos, o desempenho médio nunca é inferior a 3,92, não querendo dizer que os coletores que apresentam um desempenho inferior ao ótimo (4) estejam durante um período prolongado a extravasar. Basta ocorrer extravasamento por um período muito reduzido para que um coletor tenha problemas de extravasamento e, de uma certa forma, prejudica o desempenho global do sistema.

Do ponto de vista de investimento de uma entidade gestora, é importante conhecer quais as prioridades de investimento, de inspeção, de manutenção e quais os problemas a solucionar. Estes estão diretamente associados às variáveis estudadas e a sua resolução é fundamental para a melhoria do desempenho no sistema. No Quadro 9 são apresentados exemplos de soluções, em função dos possíveis objetivos das entidades gestoras.

Quadro 9 – Exemplos de soluções para melhorar a qualidade de serviço dos sistemas

Objetivos	Solução	Figura	Coletor mais importante
Identificação e prevenção de entrada em carga de coletores.	Redução da altura de escoamento para melhorar a qualidade da água, através da implantação de um coletor de maior diâmetro, coeficiente de rugosidade inferior ou aumento da inclinação, caso aplicável. Redução de afluências indevidas. Limpeza e desobstrução.	Figura 53	D895145
Identificação e prevenção de assoreamento, obstruções e desgastes dos coletores.	Inspeção, limpeza e manutenção de coletores, utilizando equipamento de inspeção CCTV ou outro tipo de equipamentos.	Figuras 54 e 55	D895139
Identificação e prevenção de extravasamentos em câmaras de visita.	Melhorar a eficiência do sistema, não permitindo assoreamento excessivo nos coletores e câmaras de visita. Aumento de capacidade hidráulica. Redução de afluências indevidas.	Figura 56	D895119 D895121 D895123

4.5.5 Fase 5 – Análise ao nível do componente

Por último, na quinta fase, a título de exemplo é feita uma análise ainda mais detalhada ao nível do coletor, mais precisamente ao coletor D895145 para um fator de carga 8 e nível de sedimentação de 60%. Tendo em conta a grande quantidade de resultados que são obtidos das simulações, nomeadamente 13 320 gráficos de avaliação de desempenhos relativos às variáveis estudadas, não será possível fazer a sua apresentação na totalidade de forma numérica ou graficamente no presente documento.

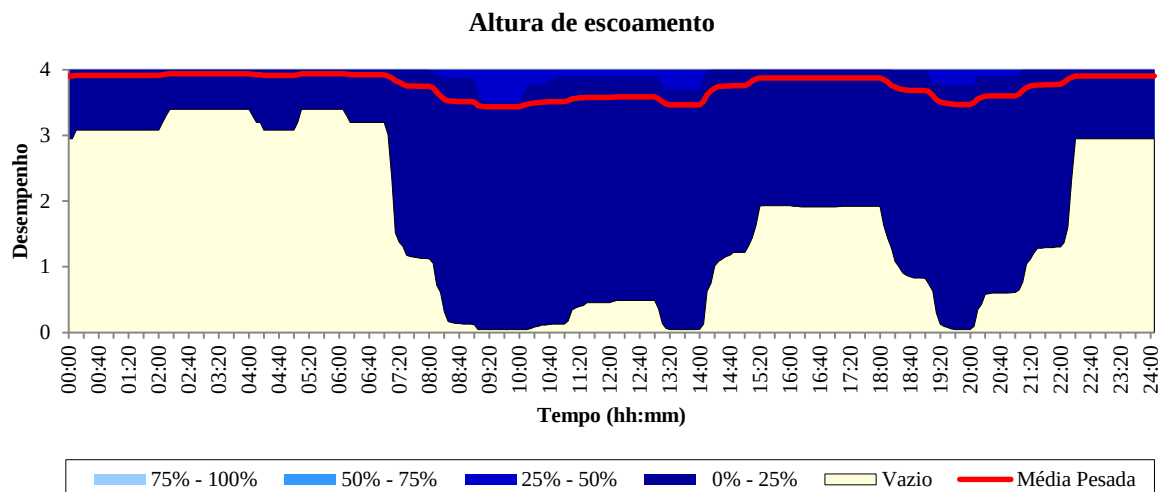


Figura 57 – Evento de tempo seco com base no desempenho da altura de escoamento, para um fator de carga 8 e um nível de sedimentação de 60%

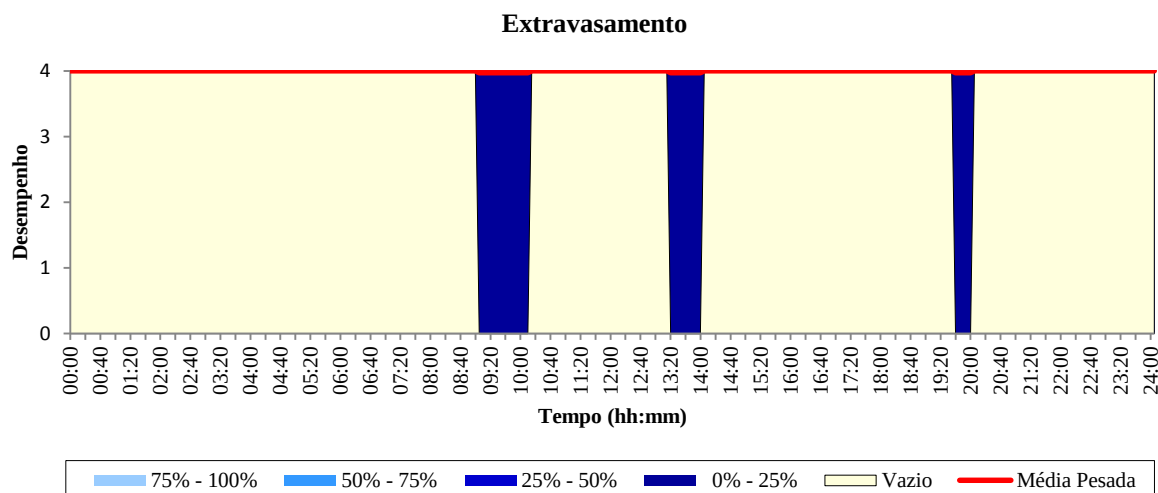


Figura 58 – Evento de tempo seco com base no extravasamento do sistema, para um fator de carga 8 e um nível de sedimentação de 60%

O evento de tempo seco analisado, cujo gráfico de desempenho para a altura de escoamento se apresenta na Figura 57, baseia-se num hidrograma cujo caudal médio corresponde ao fator de carga 8 da Figura 49. Ao longo do dia existem grandes variações de caudal que refletem também em variações de desempenho da altura de escoamento. Em alguns momentos do dia (período da manhã, almoço e jantar), pode-se visualizar que 25% dos coletores (percentil 25%) entram em carga e dão origem a inundação do sistema e extravasamento das câmaras de visitas a montante dos respetivos coletores, como demonstrado também na Figura 58. O desempenho médio pesado encontra-se entre o desempenho ótimo (4) e o bom (3). Nos casos de ocorrência de extravasamento, o decréscimo de desempenho do sistema acaba por refletir-se na curva de desempenho médio pesado ao longo do dia.

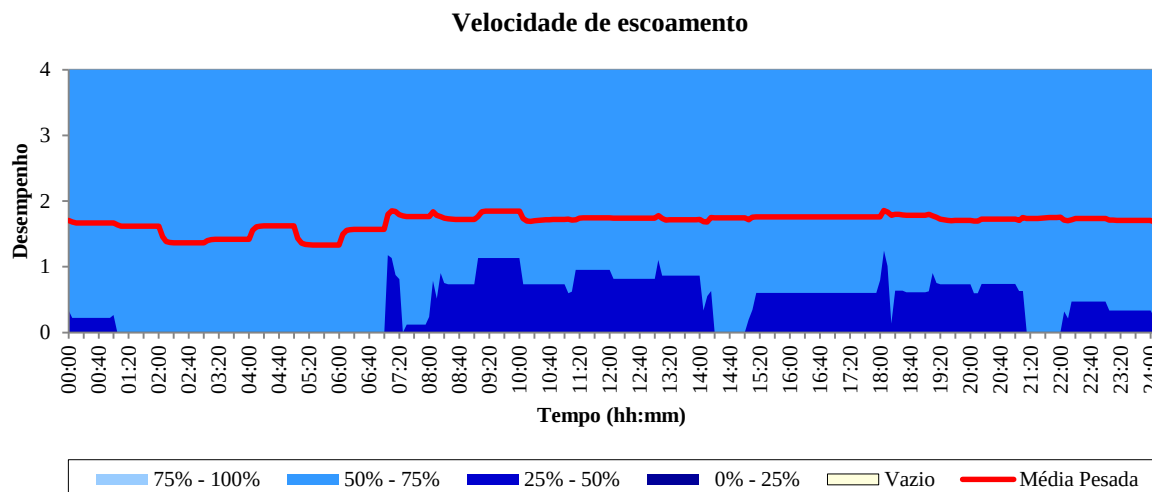


Figura 59 – Evento de tempo seco com base no desempenho da velocidade de escoamento, para um fator de carga 8 e um nível de sedimentação de 60%

A curva da média pesada encontra-se abaixo do percentil 50%, transmitindo que os valores de desempenho mais baixos são devido a problemas que afetam um reduzido número de coletores importantes. As bandas são estreitas, mas em algumas situações a banda do percentil 25% é larga, indicando que o sistema apresenta um comportamento heterogéneo, nas restantes situações apresenta um comportamento homogéneo relativamente à velocidade de escoamento.

Quanto ao gráfico de desempenho da velocidade de escoamento representado na Figura 59, corresponde também a um fator de carga 8 da Figura 49. Para o coletor em estudo, o sistema apresenta desempenhos inaceitáveis durante todo o dia, o que corresponde a um desempenho médio pesado máximo de 1,86. São visíveis variações ligeiras de desempenho da velocidade ao longo do dia, causados também por pequenas variações de caudal no sistema, piorando assim o desempenho onde ocorrem velocidades reduzidas de caudal.

A curva da média pesada encontra-se no percentil 75%, significando que os valores de desempenho mais baixos devem-se a problemas generalizados no sistema. A banda do percentil 75% é larga, significando que 25% dos coletores apresenta um comportamento heterogéneo relativamente à velocidade de escoamento, ou seja, é apresentada uma grande variabilidade de níveis de desempenho para diferentes partes do sistema como consequência da grande dispersão de valores de desempenho.

4.6 Representação em SIG

A representação em SIG permite demonstrar de uma forma mais interativa e georreferenciada, a importância de componentes, particularmente neste caso dos coletores instalados na Bacia da Venteira (Figura 31), recorrendo à metodologia utilizada na presente dissertação. Para as variáveis estudadas, apresentam-se nas Figuras 60, 62, 63 e 65, os resultados em planta, da rede doméstica, para um fator de carga (fc) de 8 e um nível de sedimentação de 60%, ilustrando através de cores a importância e o impacto que cada coletor tem para o desempenho do sistema global. A classificação da importância de componentes encontra-se descrita em 3.5.4, nomeadamente:

- ]3;4] – Baixa
- ]2;3] – Média
- ]1;2] – Elevada
-  [0;1] – Muito elevada
-  – Ligação indevida (não classificada)

Para uma visualização mais pormenorizada e identificação dos coletores mais importantes do sistema foi reduzida a janela de análise (*e.g.*, para uma importância baixa, discretizou-se a importância dos coletores para a gama de valores de desempenho compreendidos entre 3 e 4), representando-se nas Figuras 61, 64 e 66 através de cores, a importância relativa entre componentes do sistema. Esta análise permite distinguir dentro do mesmo nível de impacto no desempenho do sistema, quais os coletores mais importantes.



Figura 60 – Importância de componentes com base na avaliação da altura de escoamento, para um cenário de $fc = 8$ e um nível de sedimentação de 60%

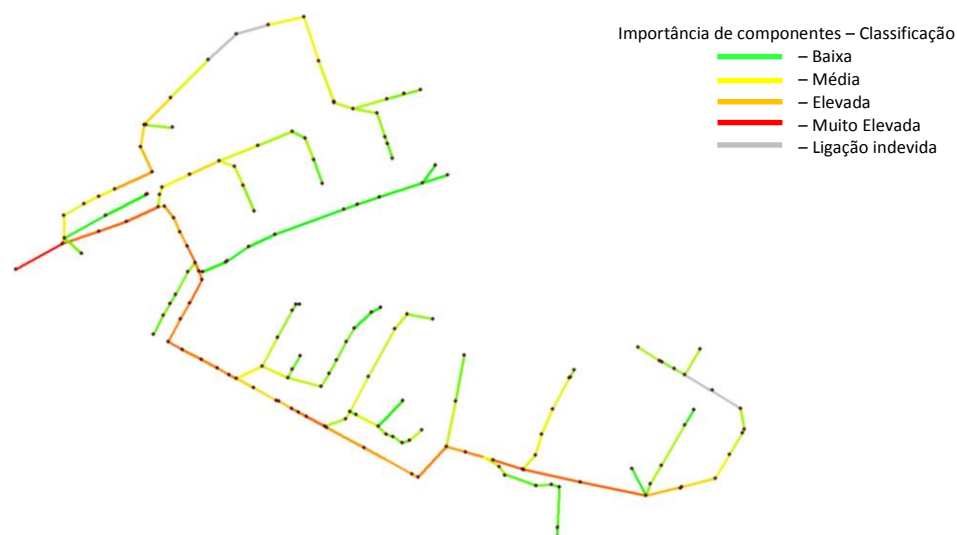


Figura 61 – Importância relativa entre componentes com base na avaliação da altura de escoamento, para um cenário de $fc = 8$ e um nível de sedimentação de 60%

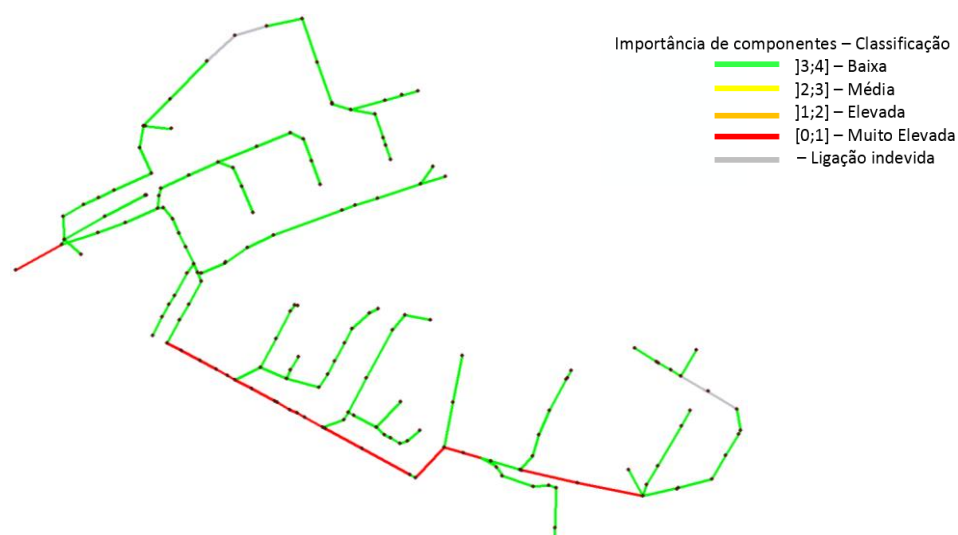


Figura 62 – Importância de componentes com base na avaliação do extravasamento de câmaras de visita, para um cenário de $fc = 8$ e um nível de sedimentação de 60%

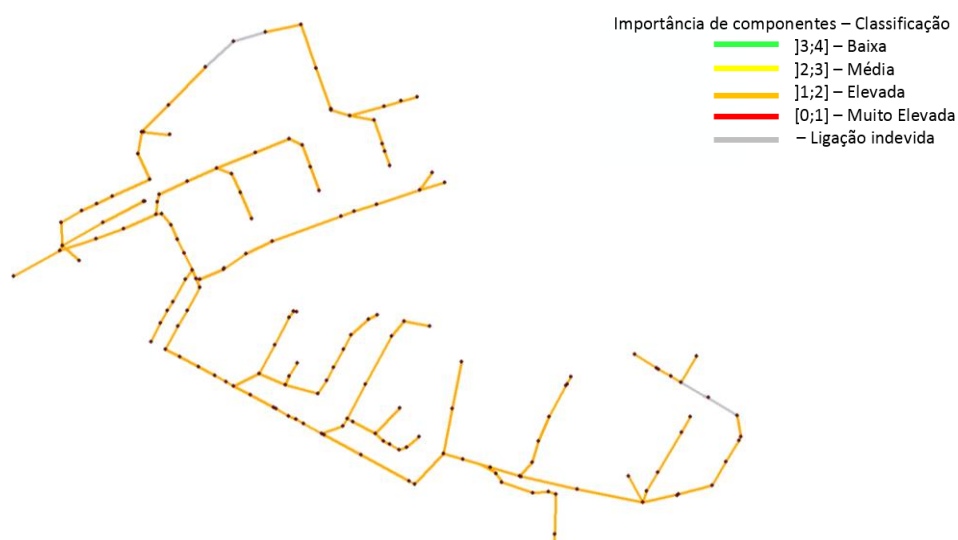


Figura 63 – Importância de componentes com base na avaliação da velocidade mínima de escoamento, para um cenário de $fc = 8$ e um nível de sedimentação de 60%

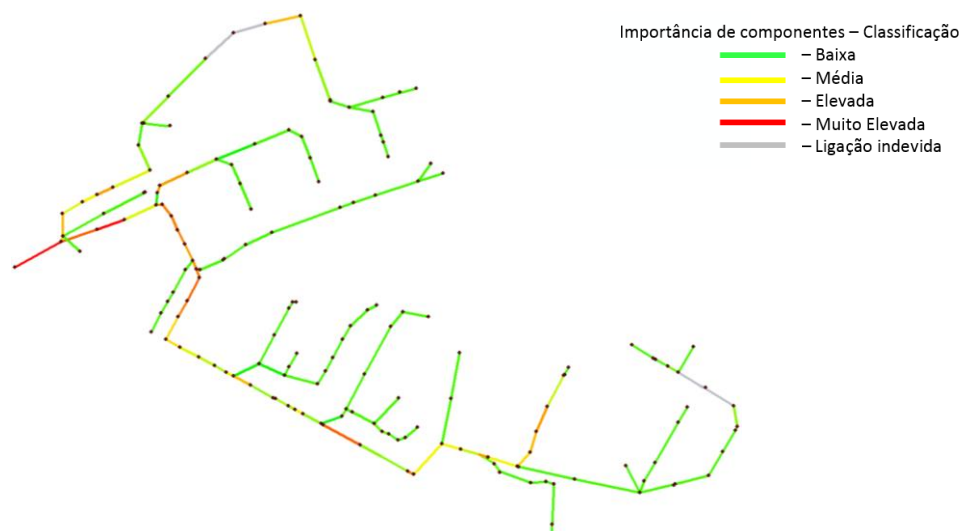


Figura 64 – Importância relativa entre componentes com base na avaliação da velocidade mínima de escoamento, para um cenário de $fc = 8$ e um nível de sedimentação de 60%

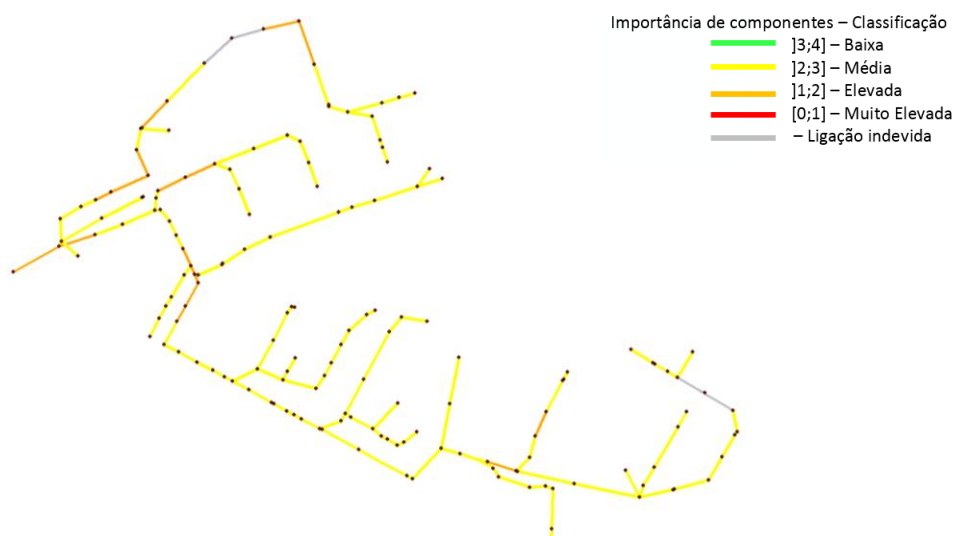


Figura 65 – Importância de componentes com base na avaliação da velocidade máxima de escoamento, para um cenário de $fc = 8$ e um nível de sedimentação de 60%

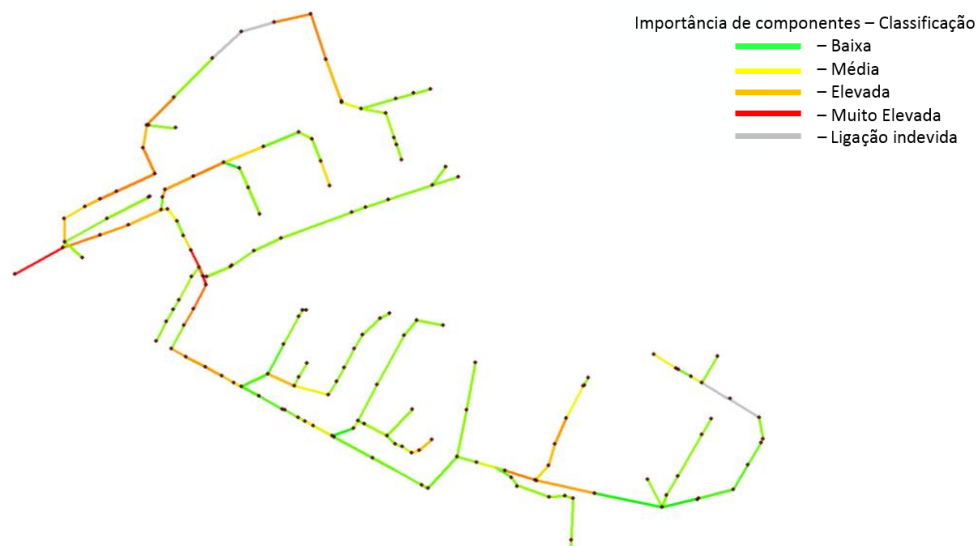


Figura 66 – Importância relativa entre componentes com base na avaliação da velocidade máxima de escoamento, para um cenário de $fc = 8$ e um nível de sedimentação de 60%

Com base no diagnóstico efetuado para a situação atual do sistema, tendo em conta os objetivos estabelecidos em 1.2, identificaram-se como principais problemas a entrada em carga de alguns coletores, o extravasamento de algumas câmaras de visita, o elevado potencial de assoreamento de coletores numa extensão excessiva do sistema e a ocorrência de afluências pluviais indevidas ao sistema doméstico, com impacto negativo na capacidade hidráulica. A título de exemplo, no Quadro A.2 do Apêndice 3 são apresentados com maior detalhe, todos os valores correspondentes à importância de componentes de cada coletor para o cenário escolhido ($fc = 8$) e um nível de sedimentação correspondente a 60%.

5 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

5.1 Considerações gerais

A avaliação da importância de componentes permite avaliar a criticidade e avaliar o impacto da falha e a importância de um determinado componente no sistema. A identificação da importância de componentes possibilita uma melhor gestão do sistema e priorizar criteriosamente as atividades de melhoria de fiabilidade, manutenção e reabilitação dos componentes críticos, contribuindo para o melhor desempenho de todo o sistema.

Considera-se que a metodologia proposta é eficaz e permite fornecer informação sobre a importância de componentes nas áreas definidas e considerando os critérios de avaliação estabelecidos. Desta forma pode ser utilizada como um apoio efetivo à gestão técnica dos sistemas e à tomada de decisão, cumprindo os objetivos propostos em 1.2 para o seu desenvolvimento.

A adoção do nível de sedimentação para a avaliação dos componentes na presente dissertação, para além de estar diretamente associado à sedimentação nos coletores, em termos generalistas, pode ser interpretado como uma medida de redução da capacidade de vazão, permitindo representar, por exemplo, a intrusão de raízes em algumas áreas, a deficiente condição estrutural, o colapso parcial ou total e ligações intrusivas que provoquem obstrução. Se existir redução da capacidade de vazão num coletor (0% a 100%), terão maior importância aqueles coletores que provoquem um menor desempenho global do sistema.

Na avaliação da importância de componentes do sistema de drenagem da bacia da Venteira, identificaram-se como principais problemas o elevado potencial de assoreamento de coletores numa extensão excessiva do sistema e o extravasamento em câmaras de visita. No que respeita aos diferentes cenários estudados e considerando a afluência indevida de caudais pluviais ao sistema doméstico, verificaram-se: problemas de incapacidade hidráulica no sistema, a ocorrência de inundações e um aumento de caudal de efluente entregue para tratamento, que se agrava com o aumento do fator de carga e o nível de sedimentação, atingindo situações inaceitáveis.

Relativamente às velocidades de escoamento, observaram-se velocidades excessivamente baixas. Este problema agrava-se em condições normais de tempo seco ($f_c = 1$), e melhorando ligeiramente para fatores de carga superiores, uma vez que as afluências pluviais indevidas ao sistema doméstico propiciam um aumento da velocidade de escoamento. O sistema aparenta estar sobredimensionado, tendo capacidade para acomodar um caudal elevado e assegurar o seu transporte para jusante. Uma vez classificada a importância de componentes do sistema, é possível identificar as alternativas de intervenção, que poderão ser as seguintes:

- Verificação através de inspeção da condição dos coletores com maior nível de importância;
- Caso se identifiquem problemas que possam levar ao menor desempenho destes componentes, identificar possíveis ações de melhoria, quer de manutenção, ajustando por exemplo a frequência das operações de limpeza, quer de reabilitação, de coletores com capacidade hidráulica insuficiente;

A metodologia desenvolvida para avaliar a importância de componentes demonstrou-se inovadora no estudo de sistemas de águas residuais domésticas. Foi aplicada no contexto específico do problema da bacia da Venteira. A aplicação desta metodologia pode trazer inúmeras vantagens às entidades gestoras, nomeadamente:

- Apoiar a tomada de decisão na definição da prioridade das intervenções, bases para o desenvolvimento de planos de manutenção, verificação de inspeções, planos de emergência, reabilitação de coletores e câmaras de visita;
- Comparar a importância de componentes e desempenhos de diferentes soluções de projeto e fornecer informação para apoiar a tomada de decisão;
- Estabelecer comparações de diferentes sistemas, no que respeita aos aspetos de desempenho, importância e criticidade dos coletores;
- Analisar a evolução do desempenho e importância de componentes dos sistemas ao longo do tempo, identificando em que situações e quando é necessário proceder a intervenções nos sistemas;
- Avaliar os benefícios técnicos, comparando as soluções de intervenção, operação e reabilitação;
- Avaliação do risco.

A interpretação dos resultados para a avaliação da importância de componentes deve ser efetuada para cada variável estudada, tendo em conta a escala de classificação, as funções de desempenho estabelecidas e, no caso da análise elementar, a função de generalização. Os gráficos de desempenho fornecem uma visão global do desempenho e da criticidade do componente, condensando num mesmo gráfico, a informação relativa a todo o sistema, quer para diferentes condições de funcionamento quer a evolução ao longo do tempo, qualquer que seja a dimensão do sistema e a duração dos cenários. O teste da metodologia, aplicado ao caso de estudo da bacia da Venteira, permitiu assim determinar:

- Se o sistema está adequadamente dimensionado, sobredimensionado ou subdimensionado;
- Se o sistema tem um comportamento homogéneo ou heterogéneo relativamente aos aspetos de desempenho analisados;
- Quais as solicitações ao sistema para as quais se começam a observar problemas de capacidade hidráulica (coletores com entrada em carga ou mesmo ocorrência de extravasamento);
- Quais as solicitações ao sistema para as quais se verificam problemas de capacidade de transporte de sedimentos (velocidades de escoamento demasiado baixas) ou velocidades de escoamento demasiado elevadas;
- Se o desempenho deficiente se deve a poucos coletores importantes ou é generalizado no sistema.
- A importância dos componentes através da identificação dos coletores que mais afetam o desempenho global do sistema em função da magnitude das obstruções;
- A criticidade dos coletores com ajuda de cenários, possibilitando uma análise global do sistema e também mais detalhada ao nível do componente.

5.2 Novas contribuições

A metodologia proposta para avaliar a importância de componentes, tendo por base o trabalho desenvolvido por Cardoso (2008), contribui com um novo método de análise, aplicado a um novo caso de estudo, particularmente:

- Avaliação da importância de componentes;
- Consideração de 6 níveis de sedimentação para representação da perda de capacidade hidráulica nos coletores;

- Desenvolvimento de uma função de desempenho relativa ao extravasamento;
- Automatização de todo o processo de cálculo e exportação de resultados;
- Representação em SIG.

Uma das limitações da utilização da metodologia desenvolvida é de não ser considerado outros tipos de componentes para além de coletores e câmaras de visita (e.g., descarregadores de tempestade, bombas, etc.); a utilização desta metodologia requer a construção e utilização de modelação matemática e a disponibilidade de um modelo do sistema devidamente verificado; a rotina desenvolvida requer a inserção de dados manualmente sendo limitada para uso generalizado em termos da interface utilizada.

5.3 Desenvolvimentos futuros

Após a finalização da presente dissertação, a metodologia desenvolvida apresenta várias potencialidades. Existem muitos aspetos a melhorar e que podem conduzir a uma melhoria da metodologia adotada para avaliar a importância de componentes. Os trabalhos a desenvolver na sequência deste trabalho incluem:

- Testar a metodologia a outros casos de estudo com diferentes características;
- Avaliar a importância de componentes de sistemas de águas residuais domésticas e pluviais com base em múltiplas falhas (simultaneamente) de coletores para diferentes cenários;
- Desenvolver e implementar um módulo de avaliação da importância de componentes no *software* SWMM - Storm Water Management Model;
- Desenvolver um programa computacional com uma interface mais apelativa e funcional que permitisse avaliar a importância de componentes com recurso à metodologia proposta;
- Incluir outros componentes e outras métricas para avaliar a importância de componentes, e expandir a sua utilização para outros domínios, de acordo com o Quadro 4.
- Aplicar a metodologia no desenvolvimento de planos de manutenção, inspeção, reabilitação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegre, H. (1992). *Instrumentos de apoio à gestão técnica de sistemas de distribuição de água*. Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa e LNEC, ISBN 972-49-1608-1.
- Alegre, H. (2007). *Gestão patrimonial de infra-estruturas de abastecimento de água e de drenagem e tratamento de águas residuais. Teses e Programas de Investigação*, LNEC, ISBN 978-972-49-2134-1, 385 pp.
- Alegre, H., Coelho, S. T., & Leitão, J. P. (2012). *Gestão Patrimonial de Infra-Estruturas em Sistemas Urbanos de Água*.
- Alegre, H., Covas, D., Coelho, S. T., Almeida, M. d., & Cardoso, M. A. (2011). *AWARE-P: uma abordagem integrada para gestão patrimonial de infra-estruturas de sistemas urbanos de água*, LNEC e IST, Lisboa, Portugal.
- Alegre, H., Matos, R., Neves, E., Cardoso, A., & Duarte, P. (2013). *Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores - 2.^a geração do sistema de avaliação*. ERSAR e LNEC, Lisboa, ISBN 978-989-8360-11-3.
- Almeida, A. B. (2011). *Gestão da Água: Incertezas e Riscos Conceptualização Operacional*, ISBN 978-989-680-044-4.
- Almeida, M. C., & Leitão, J. P. (2010). *AWARE-P Development reports Risk Assessment Module*.
- Almeida, M., & Cardoso, M. (2010). *Gestão patrimonial de infra-estruturas de águas residuais e pluviais. Uma abordagem centrada na reabilitação*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, ISBN 978-989-8360-05-2.
- Assis, R. (2010). *Apoio à decisão em manutenção na gestão de activos físicos*.
- Aven, T., & Ostebo, R. (1986). *Two new importance measures for a flow network system*. *Reliability Engineering* 1986, 14:75.
- Barabady, J., & Kumar, U. (2006). *Availability allocation through importance measures*, *Division of Operation and Maintenance Engineering*, Lulea , Sweden.
- Barlow, R., & Wu, A. (1978). *Coherent systems with multi-state components*. *Mathematics of Operations Research* 1978, Vol 3(4):275–81.

- Batista, J. M., Pereira, C. L., Alves, D., Carvalho, Á., Fernandes, G., Robalo, G., . . . Ruivo, F. (2013). *Relatório Anual do Setor de Águas e Resíduos em Portugal 2012, Caracterização Geral do Setor. Vol.1. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, Lisboa, Portugal, ISBN 978-989-8360-17-5.*
- Camacho, P., Cardoso, M. A., Correia, A., & Silva, M. H. (2012). *A aplicação da metodologia AWARE-P a um sistema de saneamento nos SMAS OEIRAS AMADORA. 15º Encontro Nacional de Saneamento Básico, ENASB 2012, Évora 10-12 de outubro (14 pp., publicação eletrónica).*
- Cardoso, M. A. (2008). *Avaliação do desempenho de sistemas de drenagem urbana. Dissertação de Doutoramento, Instituto Superior Técnico. Lisboa, Portugal: LNEC.*
- Cardoso, M. A., Silva, M. S., Camacho, P., & Pina, A. (2013). *Relatório de aplicação a caso de estudo, CEAR1_OA - Bacia da Venteira.*
- Cardoso, M., Santos Silva, M., Coelho, S., Almeida, M., & Covas, D. (2011). *Urban water infrastructure asset management - structured approach in four Portuguese water utilities. IWA 4th Leading Edge Conference on Strategic Asset Management 2011, 27-30 September, Mülheim An Der Ruhr, Germany.*
- Carriço, N., Covas, D., Alegre, H., Almeida, M., & Leitão, J. (2011). *Prioritization of rehabilitation interventions for urban water assets using multiple criteria decision-aid. IWA 4th Leading Edge Conference on Strategic Asset Management 2011, 27-30 September, Mülheim An Der Ruhr, Germany.*
- CEN. (2008b). *EN 752:2008. Drain and sewer systems outside buildings. Comité Européu de Normalização, 24 de Novembro de 2007.*
- Coelho, S. (1997). *Performance in water distribution - A system approach. Research studies press, Reino Unido, John Wiley & Sons, EUA, ISBN 0-86380-219-2.*
- Coelho, S. (1998). *Indicadores do Desempenho de Sistemas de Saneamento básico. Informação Científica e Técnica de Hidráulica, ITH 40, LNEC, Lisboa, Portugal.*
- Decreto-Lei n.º 236/98. (1998). *Estabelece Normas, Critérios e Objetivos de Qualidade com a Finalidade de Proteger o meio Aquático e Melhorar a Qualidade da Água em Função dos seus principais Usos. D.R. n.º 176, Série I-A de 1998/08/01, pp. 3676-3722.*

- Decreto-Regulamentar n.º 23/95. (1995). *Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais*. D.R. n.º 194, Série I-B de 23 de Agosto, pp. 5284-5319.
- Diretiva n.º 91/271/CEE. (1991). *Diretiva Europeia Tratamento de Águas Residuais Urbanas. Diretiva do Conselho, de 21 de Maio*. JOCE n.º L 135 de 30/05/1991, pp. 40 52.
- El-Newehi, E., Proschan, F., & Sethuraman, J. (1978). *Multi-state coherent systems*. *Journal of Applied Probability* 1978, Vol 15: 675–88.
- EN 752:2008. (2008). *European Standard, Drain and sewer systems outside buildings*, CEN, European committee for Standardisation, ISBN 978-0-580-84887-2.
- Gonçalves, L., & Monteiro, A. (2002). *Requisitos e Especificações Técnicas para a Elaboração de projectos para o Grupo Águas de Portugal, SGPS - Águas Residuais. Dados Tubagens*. AdP, Lisboa.
- Griffith, W. (1980). *Multi-state reliability models*. *Journal of Applied Probability* 1980, Vol 17: 735–44.
- Henrique. (2013). *Henrique - Ciências 2011, Catástrofes naturais*, <http://ciencias2011-henrique.blogspot.pt/2011/01/catastrofes-naturais.html>, acedido dia 28 de Janeiro de 2014.
- Hilber, P. (2005). *Component reliability importance indices for maintenance optimization of electrical networks*, licentiate thesis, KTH Royal institute of technology, Sweden, ISBN 91-7178-055-6.
- IAEA. (2008). *Application of Reliability Centred Maintenance to Optimize Operation and Maintenance in Nuclear Power Plants*, International Atomic Energy Agency, Vienna, ISBN 978-92-0-105008-3. Áustria.
- ISO. (2007a). *ISO 24510:2007(E). Activities relating to drinking water and wastewater services - Guidelines for the assessment and for the improvement of the service to users*. International Standards Organization.
- ISO. (2007b). *ISO 24511:2007(E). Activities relating to drinking water and wastewater services - Guidelines for the management of wastewater utilities and for the assessment of drinking water services*. Internacional Standards Organization.

- Levitin, G., & Lisnianski, A. (1999). *Importance and sensitivity analysis of multi-state systems using the universal generating function. Reliability Engineering and System Safety* 1999, Vol 65: 271–82.
- Manvias Conduas. (2014). *Catálogo de reparação e reabilitação de rede de esgotos*, <http://www.manviacondutas.com/index.php?pg=3&spg=17&menu>, acessado a 3 de Fevereiro de 2014.
- MAOT. (2007). *Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais PEAASAR II (2007-2013)*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional, Portugal, ISBN 978-989-8097-00-2.
- Marques, M., Saramago, A., Silva, M., Paiva, C., Coelho, S., Pina, A., . . . Coelho, S. (2011). *Rehabilitation in Oeiras&Amadora: A Practical Approach*. IWA 4th Leading Edge Conference on Strategic Asset Management, 2011, 27-30 September Mülheim An Der Ruhr, Germany.
- Matos, J. M. (1991). *Aerobiose e Septicidade em Sistemas de Drenagem de Águas Residuais*. Dissertação de Doutoramento, IST, Lisboa, Portugal.
- Matos, M. R. (2000). *Gestão Integrada de Águas Pluviais em Meio Urbano. Visão Estratégica e Soluções para o futuro*. Teses e Programas de Investigação, LNEC, Portugal, ISBN 972-49-1854-8.
- Matos, R., & Matos, J. (2002). *Requisitos e Especificações Técnicas para a Elaboração de projectos para o Grupo Águas de Portugal*, SGPS - Doc.2.2 - Câmaras de Visita e Câmaras de Corrente de Varrer, AdP, Lisboa.
- Matos, R., Cardoso, A., Ashley, R., Duarte, P., Molinari, A., & Schulz, A. (2004). *Indicadores de desempenho para serviços de águas residuais*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, ISBN 972-99354-3-2.
- Matos, R., Cardoso, A., Ashley, R., Duarte, P., Molinari, A., & Schulz, A. (2010). *Gestão patrimonial de infra-estruturas de abastecimento de águas. Uma abordagem centrada na reabilitação*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, ISBN 978-989-8360-04-5.

- Natvig, B. (2011). *Measures of component importance in nonrepairable and repairable multistate strongly coherent systems. Methodology and Computing in Applied Probability* 2011(b), 13:523-47.
- Natvig, B. (2011). *Multistate systems reliability theory with applications*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2011(a).
- Natvig, B., Huseby, A., & Reistadbakk, M. (2011). *Measures of component importance in repairable multistate systems - a numerical study. Reliability Engineering and System Safety*, 2011.
- PBM SIG. (1995). *How to Measure Performance. A Handbook of Techniques and Tools. Training Resources and Data Exchange (TRADE), Performance-Based Management Special Interest Group, E.U.A.*
- Ramirez Marquez, J., & Coit, D. (2005). *Composite importance measures for multistate systems with multistate components. IEEE Transactions on Reliability* 2005, 54(3): 517–29.
- Ramirez-Marquez, J. E., & Coit, D. W. (2007). *Multi-state component criticality analysis for reliability improvement in multi-state systems. Reliability Engineering and System Safety*, 92, pp. 1608-1619.
- Ramirez-Marquez, J., Rocco, C., Gebre, B., Coit, D., & Tortorella, M. (2006). *New insights on multi-state component criticality and importance. Reliability Engineering and System Safety* 2006, 91:894–904.
- RBA. (2014). *Rede Brasil Atual*, <http://www.redebrasilatual.com.br/ambiente/2013/09/falha-em-rede-da-sabesp-deixa-esgoto-de-10-mil-moradores-cair-na-represa-billings-2929.html>, acessado a 3 de Fevereiro de 2014.
- Rocco, C. M., & Ramirez-Marquez, J. E. (2012). *Innovative approaches for addressing old challenges in component importance measures. Reliability Engineering and System Safety*, 108, pp. 123-130.
- Ruiz, J., & Rocco, C. (2010). *Importance measures on networks. Procedia Social and Behavioral Sciences* 2010, 2:7735-6.
- Sallak, M., Schon, W., & Aguirre, F. (2013). *Extended Component Importance Measures Considering Aleatory and Epistemic Uncertainties. IEEE Transactions on Reliability*, 62, pp. 49-65.

- Setréus, J. (2011). *Identifying critical components for system reliability in power transmission systems*, KTH Royal institute of technology, Sweden, ISBN 978-91-7501-081-6.
- Soares, A. M., & Antão, A. (2008). *Evolução do Sector da Água e Saneamento - Perspectivas Futuras*. Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas, Portugal, DL 269646/08.
- Sousa, A. E., & Matos, J. M. (1991). *Órgãos especiais de sistemas de drenagem. Manual de Saneamento Básico, Volume 2, Direcção Geral dos Recursos Naturais, Portugal*, ISBN 972-9412-05-7.
- Sousa, E. R. (2001). *Sistemas de drenagem de águas residuais e pluviais, Saneamento Ambiental I*. Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Vaurio, J. (2010). *Ideas and developments in importance measures and fault tree techniques for reliability and risk analysis*. *Reliability Engineering and System Safety* 2010, 95:99-107.
- Vaurio, J. (2011). *Importance measures in risk-informed decision making: ranking, optimization and configuration control*. *Reliability Engineering and System Safety* 2011, 96:1426-36.
- Visão. (2014). *Buraco no meio da estrada surpreende chineses*, <http://visao.sapo.pt/buraco-no-meio-da-estrada-surpreende-chineses=f704026>, acedido dia 30 de Março de 2014.
- Wagner, J. M., Shamir, U., & Marks, D. H. (1998). *Water Distribution Reliability: Simulation Methods*. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 114 (3), pp. 276-294.
- Wikipédia. (2014). *Amadora*. Obtido de Wikipédia: <http://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Amadora&oldid>. Acedido a 16 de Abril de 2014.
- Wu, S., & Chan, L. (2003). *Performance utility - analysis of multi-state systems*. *IEEE Transactions on Reliability* 2003, 52(1):14.
- Yager, R. R. (1988). *On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making*. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 1988, Vol 18: 183-90.
- Zhang, P., Portillo, L., & Kezunovic, M. (2006). *Reliability and Component Importance Analysis of All-Digital Protection Systems*.

APÊNDICE 1

Caracterização do sistema separativo doméstico

APÊNDICE 1 – CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA SEPARATIVO DOMÉSTICO

Quadro A.1 – Caracterização do sistema de águas residuais domésticas da bacia da Venteira

Troço	D	L	DxL	Volume	Q _{sc}	Cota de soleira montante	Cota de soleira jusante	Cota do terreno montante	Cota do terreno jusante
	(m)	(m)	(m ²)	(m ³)	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)
D1121987	0.20	8.68	1.74	0.27	0.11	120.63	119.30	122.38	121.35
D1121988	0.20	20.27	4.05	0.64	0.04	119.30	118.98	121.35	120.48
D1121989	0.20	13.71	2.74	0.43	0.04	118.98	118.69	120.48	120.29
D1121990	0.20	18.07	3.61	0.57	0.01	118.69	118.64	120.29	120.11
D1121991	0.20	12.81	2.56	0.40	0.06	118.64	118.05	120.11	119.95
D1121992	0.20	13.34	2.67	0.42	0.04	118.05	117.83	119.95	119.70
D1121993	0.20	29.25	5.85	0.92	0.05	117.83	116.95	119.70	118.15
D1121994	0.20	24.40	4.88	0.77	0.08	116.95	115.07	118.15	117.13
D1121997	0.20	13.32	2.66	0.42	0.03	117.50	117.33	118.35	118.33
D1121998	0.20	8.45	1.69	0.27	0.06	117.33	116.95	118.33	118.15
D863572	0.20	30.60	6.12	0.96	0.03	117.85	117.45	119.67	119.08
D863652	0.20	24.37	4.87	0.77	0.05	109.93	109.10	111.50	111.26
D863653	0.32	4.87	1.53	0.38	0.12	105.94	105.86	108.43	108.33
D863656	0.20	40.33	8.07	1.27	0.05	107.09	105.94	109.72	108.43
D863662	0.20	14.11	2.82	0.44	0.06	113.31	112.71	115.04	114.49
D863664	0.20	10.52	2.10	0.33	0.07	108.96	108.34	111.80	111.64
D863665	0.20	3.08	0.62	0.10	0.07	111.30	111.13	113.47	113.51
D863675	0.20	22.75	4.55	0.71	0.05	120.34	119.59	122.47	121.55
D863706	0.20	9.90	1.98	0.31	0.09	111.98	110.92	113.41	113.37
D863709	0.20	11.58	2.32	0.36	0.05	113.78	113.36	115.63	115.18
D863714	0.20	24.57	4.91	0.77	0.05	115.07	114.17	117.13	115.95
D863740	0.20	19.46	3.89	0.61	0.06	120.09	119.22	122.14	121.17
D863741	0.20	5.80	1.16	0.18	0.06	120.51	120.21	122.24	122.20
D863745	0.20	9.71	1.94	0.31	0.08	121.51	120.77	122.91	122.49
D863747	0.20	40.09	8.02	1.26	0.03	129.54	128.97	131.36	130.83
D863758	0.20	16.32	3.26	0.51	0.07	136.98	135.89	138.63	137.39
D863761	0.20	15.80	3.16	0.50	0.08	131.50	130.24	133.50	132.20
D863762	0.20	15.85	3.17	0.50	0.07	132.54	131.50	135.67	133.50
D863765	0.20	13.60	2.72	0.43	0.02	136.12	136.04	138.42	138.04
D863774	0.20	10.22	2.04	0.32	0.05	142.80	142.49	144.46	144.39
D863777	0.20	10.57	2.11	0.33	0.04	136.71	136.51	138.31	138.03
D863787	0.20	2.87	0.57	0.09	0.09	116.82	116.51	118.23	118.19
D895060	0.20	26.01	5.20	0.82	0.07	144.07	142.49	145.57	144.39

Quadro A.1 (continuação) – Caracterização do sistema de águas residuais domésticas da bacia da Venteira

Troço	D	L	DxL	Volume	Q _{sc}	Cota de soleira montante	Cota de soleira jusante	Cota do terreno montante	Cota do terreno jusante
	(m)	(m)	(m ²)	(m ³)	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)
D895066	0.20	18.59	3.72	0.58	0.05	137.90	137.35	139.68	138.84
D895068	0.20	3.48	0.70	0.11	0.06	137.35	137.20	138.84	138.77
D895070	0.20	23.66	4.73	0.74	0.02	137.04	136.90	138.62	138.34
D895072	0.20	30.23	6.05	0.95	0.02	136.90	136.75	138.34	138.33
D895074	0.20	31.26	6.25	0.98	0.02	136.75	136.51	138.33	138.03
D895076	0.20	57.77	11.55	1.81	0.02	136.51	136.16	138.03	138.46
D895078	0.20	51.14	10.23	1.61	0.02	136.16	135.89	138.46	137.39
D895080	0.20	26.48	5.30	0.83	0.09	135.89	132.99	137.39	135.29
D895082	0.20	9.03	1.81	0.28	0.12	132.99	131.50	135.29	133.50
D895084	0.20	15.58	3.12	0.49	0.08	130.24	128.97	132.20	130.83
D895086	0.20	36.45	7.29	1.15	0.08	128.97	126.28	130.83	128.14
D895088	0.20	5.68	1.14	0.18	0.09	126.28	125.71	128.14	127.70
D895090	0.20	47.27	9.45	1.49	0.08	125.71	122.31	127.70	124.11
D895092	0.20	36.39	7.28	1.14	0.08	122.31	119.46	124.11	121.35
D895094	0.28	2.21	0.62	0.14	0.23	119.46	119.22	121.35	121.17
D895096	0.20	17.90	3.58	0.56	0.07	119.22	118.05	121.17	119.89
D895098	0.20	7.52	1.50	0.24	0.07	118.05	117.59	119.89	119.41
D895100	0.20	6.87	1.37	0.22	0.08	117.59	117.11	119.41	118.94
D895102	0.20	12.87	2.57	0.40	0.07	117.11	116.30	118.94	118.10
D895104	0.20	2.23	0.45	0.07	0.05	116.30	116.24	118.10	117.96
D895106	0.20	22.59	4.52	0.71	0.07	116.24	114.97	117.96	116.69
D895108	0.20	16.33	3.27	0.51	0.06	114.97	114.17	116.69	115.95
D895110	0.20	7.41	1.48	0.23	0.07	114.17	113.78	115.95	115.63
D895113	0.20	15.65	3.13	0.49	0.05	113.36	112.82	115.18	114.59
D895115	0.20	18.38	3.68	0.58	0.06	112.82	112.10	114.59	114.10
D895117	0.20	14.09	2.82	0.44	0.05	112.10	111.63	114.10	113.96
D895119	0.32	22.55	7.10	1.76	0.09	111.63	111.43	113.96	113.74
D895121	0.32	15.60	4.91	1.22	0.08	111.43	111.31	113.74	113.63
D895123	0.32	22.83	7.19	1.78	0.07	111.31	111.18	113.63	113.55
D895125	0.32	7.90	2.49	0.62	0.08	111.18	111.13	113.55	113.51
D895127	0.32	8.07	2.54	0.63	0.15	111.13	110.92	113.51	113.37
D895129	0.32	16.30	5.13	1.27	0.10	110.92	110.75	113.37	113.01
D895131	0.32	13.14	4.14	1.02	0.19	110.75	110.22	113.01	112.66
D895133	0.32	13.54	4.27	1.06	0.16	110.22	109.85	112.66	112.30
D895135	0.32	12.66	3.99	0.99	0.16	109.85	109.50	112.30	111.87
D895137	0.32	5.05	1.59	0.39	0.46	109.50	108.34	111.87	111.64
D895139	0.32	30.46	9.59	2.37	0.15	108.34	107.56	111.64	110.27
D895141	0.32	25.44	8.01	1.98	0.17	107.56	106.75	110.27	109.25

Quadro A.1 (continuação) – Caracterização do sistema de águas residuais domésticas da bacia da Venteira

Troço	D	L	DxL	Volume	Q _{sc}	Cota de soleira montante	Cota de soleira jusante	Cota do terreno montante	Cota do terreno jusante
	(m)	(m)	(m ²)	(m ³)	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)
D895143	0.32	32.81	10.34	2.56	0.16	106.75	105.86	109.25	108.33
D895145	0.32	45.81	14.43	3.57	0.19	105.86	103.97	108.33	107.19
D895352	0.20	40.96	8.19	1.29	0.03	130.09	129.54	131.37	131.36
D895865	0.20	18.68	3.74	0.59	0.05	120.18	119.59	122.03	121.55
D895867	0.20	39.04	7.81	1.23	0.05	119.59	118.43	121.55	120.23
D895869	0.20	20.24	4.05	0.64	0.05	118.43	117.68	120.23	119.38
D895871	0.20	12.20	2.44	0.38	0.06	117.68	117.10	119.38	118.97
D895873	0.20	63.29	12.66	1.99	0.05	117.10	115.38	118.97	116.74
D895875	0.20	24.80	4.96	0.78	0.06	115.38	114.14	116.74	115.72
D895877	0.30	23.75	7.13	1.68	0.16	114.14	113.23	115.72	114.46
D895879	0.20	22.23	4.45	0.70	0.08	113.23	111.30	114.46	113.47
D896383	0.20	6.31	1.26	0.20	0.02	116.51	116.47	118.19	118.08
D896385	0.20	26.69	5.34	0.84	0.05	116.47	115.78	118.08	117.58
D896387	0.20	28.13	5.63	0.88	0.05	115.78	115.07	117.58	117.13
D896397	0.20	22.83	4.57	0.72	0.08	124.38	122.48	125.48	123.91
D896401	0.20	16.59	3.32	0.52	0.05	122.48	122.02	123.91	123.46
D896403	0.20	47.00	9.40	1.48	0.05	122.02	120.84	123.46	122.70
D896405	0.20	33.90	6.78	1.06	0.04	120.84	120.21	122.70	122.20
D896407	0.20	7.33	1.47	0.23	0.04	120.21	120.09	122.20	122.14
D896492	0.20	22.17	4.43	0.70	0.09	145.63	143.45	147.15	145.10
D896494	0.20	2.10	0.42	0.07	0.08	143.45	143.30	145.10	144.95
D896496	0.20	12.43	2.49	0.39	0.06	143.30	142.80	144.95	144.46
D896499	0.20	8.79	1.76	0.28	0.02	136.50	136.46	137.08	137.35
D896501	0.20	34.83	6.97	1.09	0.01	136.46	136.44	137.35	138.48
D896503	0.20	6.91	1.38	0.22	0.06	136.44	136.12	138.48	138.42
D896626	0.20	30.84	6.17	0.97	0.07	122.63	120.77	124.42	122.49
D896628	0.20	21.56	4.31	0.68	0.03	120.77	120.51	122.49	122.24
D896647	0.30	14.16	4.25	1.00	0.21	124.07	123.14	125.13	124.34
D896649	0.20	6.49	1.30	0.20	0.10	123.14	122.37	124.34	123.93
D896651	0.20	9.73	1.95	0.31	0.05	122.37	122.07	123.93	123.37
D896653	0.20	6.06	1.21	0.19	0.09	122.07	121.51	123.37	122.91
D896754	0.20	18.08	3.62	0.57	0.03	112.58	112.39	113.84	113.76
D896756	0.20	11.97	2.39	0.38	0.03	112.39	112.28	113.76	113.67
D896758	0.20	9.13	1.83	0.29	0.02	112.28	112.23	113.67	113.59
D896760	0.20	22.23	4.45	0.70	0.03	112.23	111.98	113.59	113.41
D896764	0.20	19.49	3.90	0.61	0.05	106.62	105.94	108.54	108.43
D897377	0.20	8.57	1.71	0.27	0.08	142.46	141.78	144.41	143.92
D897379	0.20	30.44	6.09	0.96	0.07	141.78	139.74	143.92	141.86

Quadro A.1 (continuação) – Caracterização do sistema de águas residuais domésticas da bacia da Venteira

Troço	D	L	DxL	Volume	Q _{sc}	Cota de soleira montante	Cota de soleira jusante	Cota do terreno montante	Cota do terreno jusante
	(m)	(m)	(m ²)	(m ³)	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)
D897381	0.20	23.37	4.67	0.73	0.08	139.74	137.84	141.86	140.10
D897383	0.20	19.10	3.82	0.60	0.06	137.84	136.98	140.10	138.63
D897747	0.20	21.89	4.38	0.69	0.02	116.14	116.27	118.14	118.00
D897749	0.20	20.06	4.01	0.63	0.02	116.27	116.17	118.00	117.92
D897751	0.20	12.51	2.50	0.39	0.05	116.17	115.78	117.92	117.45
D897753	0.20	31.66	6.33	0.99	0.06	115.78	114.44	117.45	116.18
D897755	0.20	35.94	7.19	1.13	0.06	114.44	112.71	116.18	114.49
D897757	0.20	27.85	5.57	0.87	0.06	112.71	111.27	114.49	113.09
D897759	0.20	26.73	5.35	0.84	0.07	111.27	109.76	113.09	111.84
D897761	0.20	6.71	1.34	0.21	0.10	109.76	108.96	111.84	111.80
D897764	0.20	24.31	4.86	0.76	0.05	114.08	113.20	116.02	115.70
D897767	0.20	13.45	2.69	0.42	0.05	118.71	118.35	120.36	120.09
D897769	0.20	6.57	1.31	0.21	0.05	118.35	118.15	120.09	119.92
D897771	0.20	21.66	4.33	0.68	0.04	118.15	117.74	119.92	119.56
D897773	0.20	21.38	4.28	0.67	0.03	117.74	117.45	119.56	119.08
D897775	0.20	16.97	3.39	0.53	0.04	117.45	117.12	119.08	118.70
D897777	0.20	38.45	7.69	1.21	0.05	117.12	115.91	118.70	117.36
D897779	0.20	40.02	8.00	1.26	0.06	115.91	114.33	117.36	116.26
D897781	0.20	31.32	6.26	0.98	0.06	114.33	113.09	116.26	114.92
D897787	0.20	46.02	9.20	1.45	0.04	110.92	109.81	113.09	111.93
D897789	0.20	32.76	6.55	1.03	0.04	109.81	109.10	111.93	111.26
D897791	0.20	19.04	3.81	0.60	0.03	109.10	108.95	111.26	111.17
D897793	0.20	24.06	4.81	0.76	0.03	108.95	108.71	111.17	111.49
D897795	0.20	35.47	7.09	1.11	0.04	108.71	107.97	111.49	110.30
D897797	0.20	14.91	2.98	0.47	0.04	107.97	107.65	110.30	109.78
D897799	0.20	14.06	2.81	0.44	0.04	107.65	107.32	109.78	109.23
D897801	0.20	20.52	4.10	0.64	0.05	107.32	106.56	109.23	108.57
D897804	0.20	29.88	5.98	0.94	0.04	118.31	117.85	120.23	119.67
D897958	0.20	1.21	0.24	0.04	0.25	109.54	108.57	111.59	111.57
D897960	0.20	39.44	7.89	1.24	0.06	108.57	107.09	111.57	109.72
D897998	0.20	15.45	3.09	0.49	0.05	138.20	137.79	140.14	139.75
D898000	0.20	40.27	8.05	1.27	0.04	137.79	137.08	139.75	138.73
D898002	0.20	18.54	3.71	0.58	0.04	137.08	136.71	138.73	138.31
D904739	0.16	26.14	4.18	0.53	0.02	137.00	136.51	137.70	138.03
D906803	0.25	21.78	5.45	1.07	0.04	137.20	137.04	138.77	138.62
D909354	0.20	18.08	3.62	0.57	0.02	113.20	113.31	115.70	115.04
D909366	0.20	19.66	3.93	0.62	0.05	106.56	105.94	108.57	108.43
D909405	0.20	28.52	5.70	0.90	0.00	136.04	136.04	138.04	137.04
D909408	0.20	8.79	1.76	0.28	0.18	136.04	132.54	137.04	135.67

APÊNDICE 2

Resultados de simulação

APÊNDICE 2 – RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

A1 Resultados para a situação mais desfavorável ($fc = 1$)

- **Análise geral**

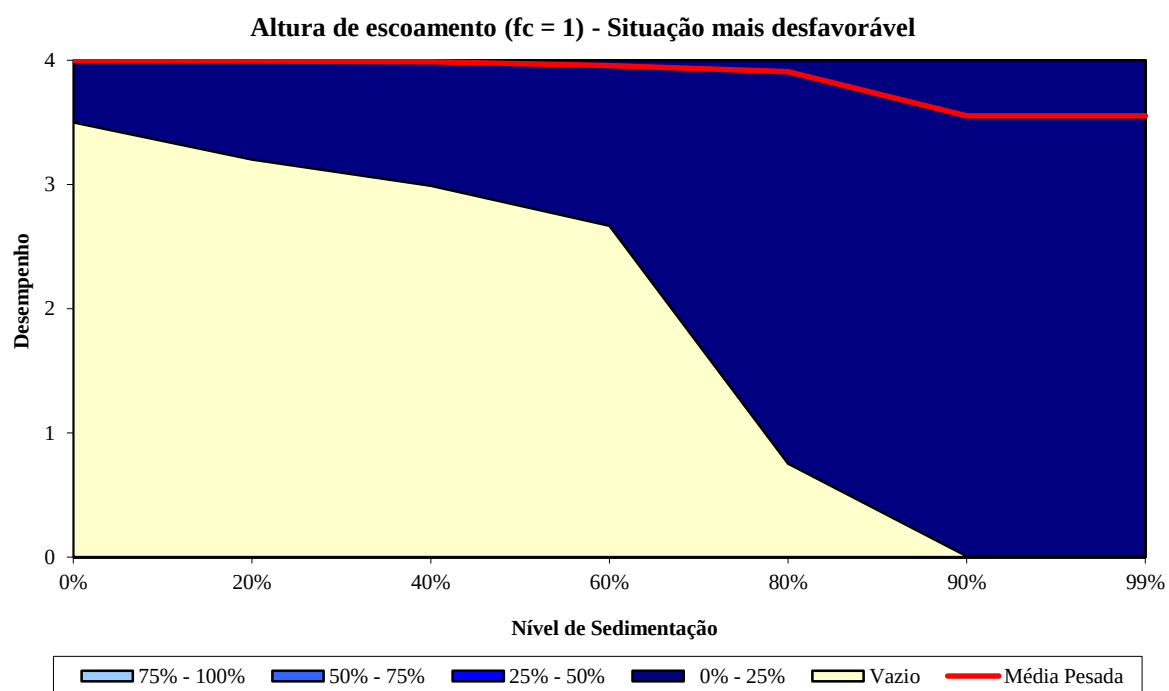


Figura A.1 – Desempenho da altura de escoamento para a situação mais desfavorável e um fator de carga 1

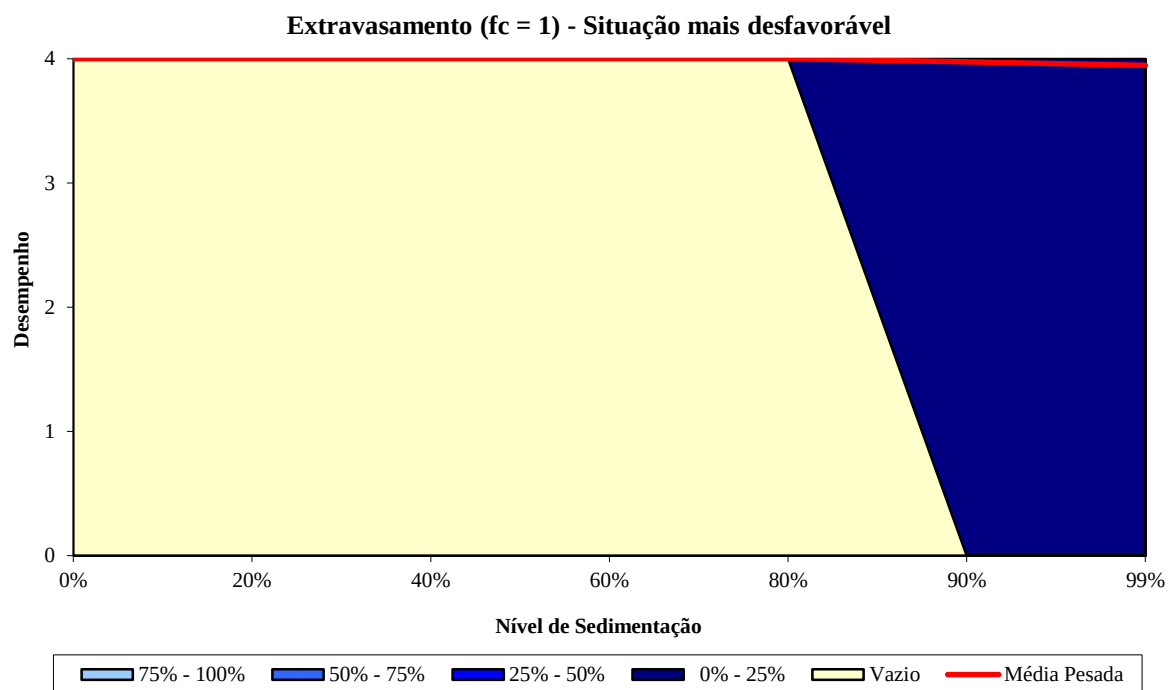


Figura A.2 – Extravasamento do sistema para o cenário mais desfavorável e um fator de carga 1

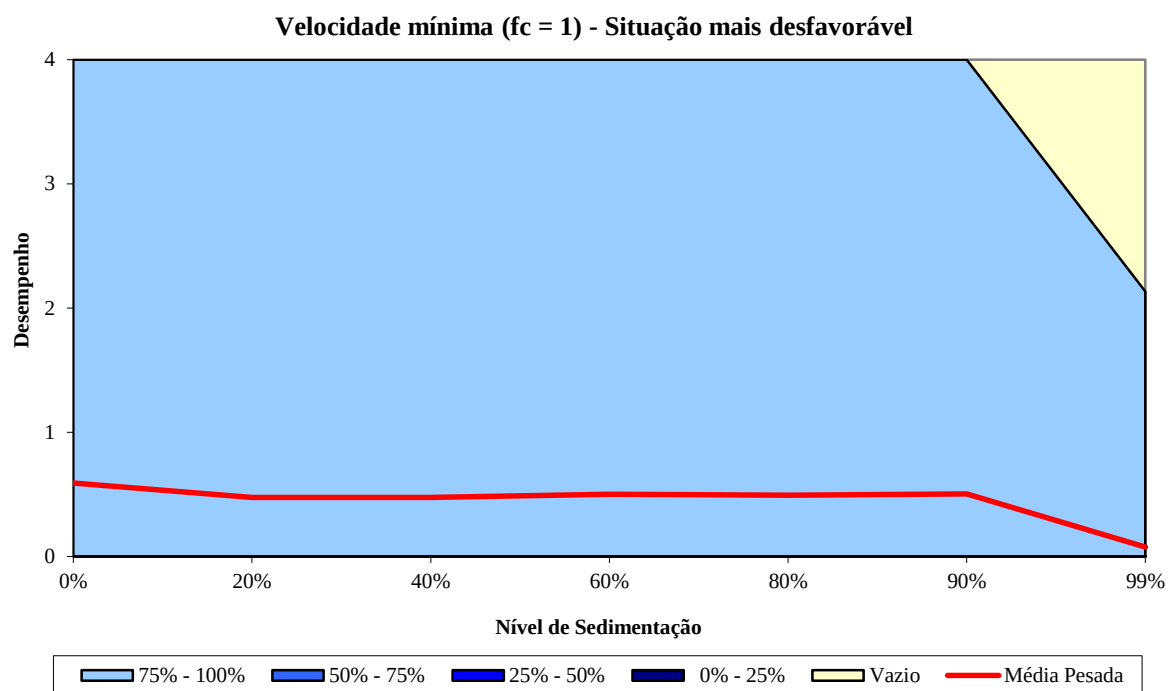


Figura A.3 – Desempenho da velocidade mínima de escoamento para a situação mais desfavorável e um fator de carga 1

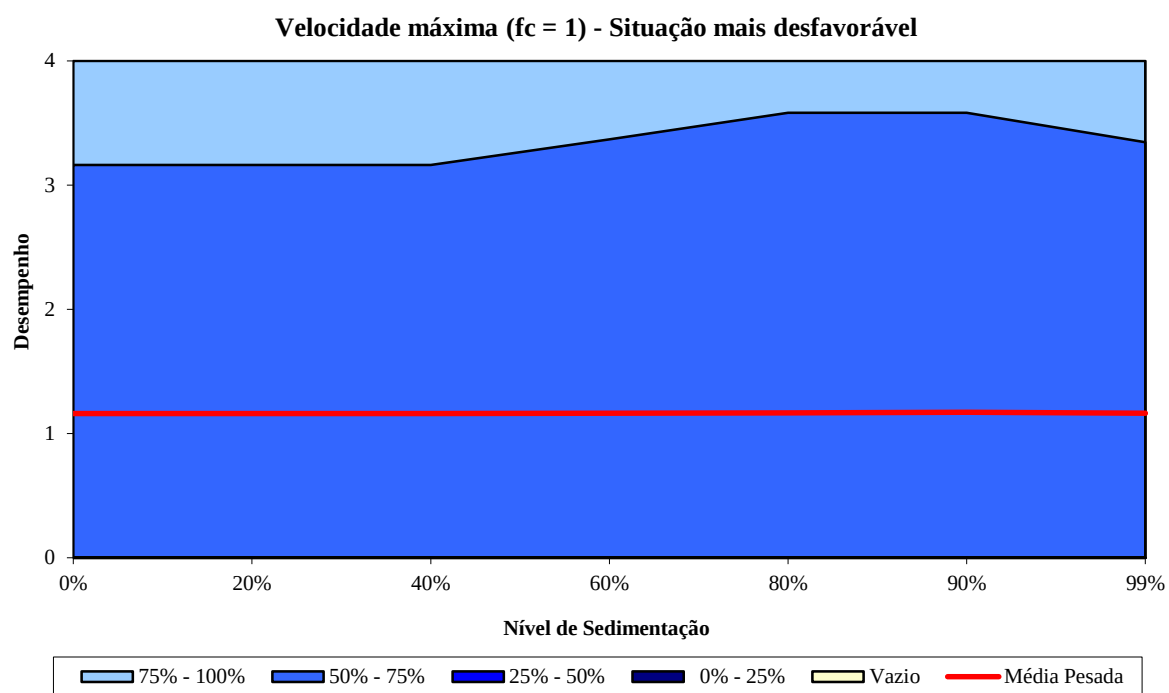


Figura A.4 – Desempenho da velocidade máxima de escoamento para a situação mais desfavorável e um fator de carga 1

- Avaliação da criticidade dos coletores**

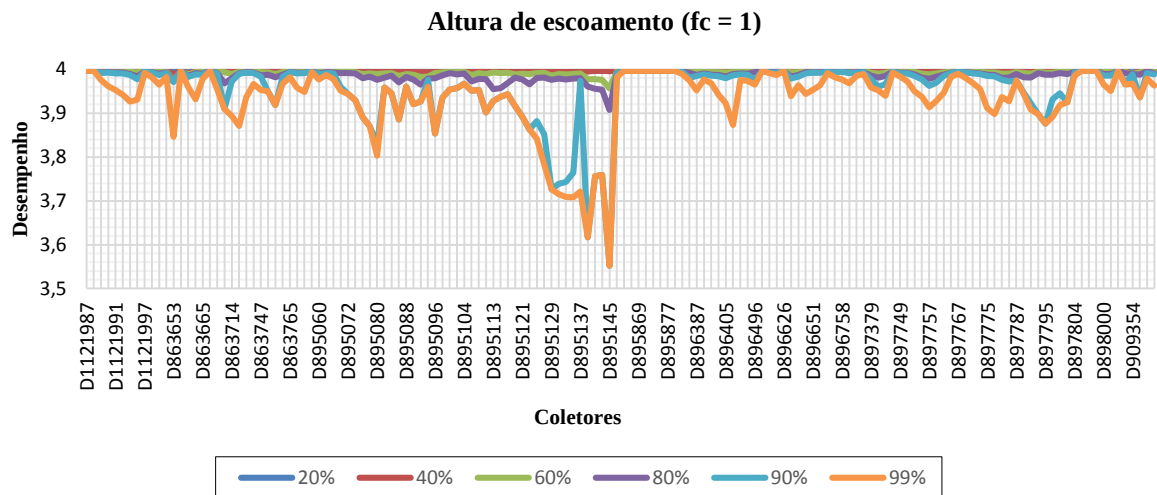


Figura A.5 – Identificação de coletores críticos no sistema, avaliando o desempenho da altura de escoamento para um fator de carga 1 e diferentes níveis de sedimentação

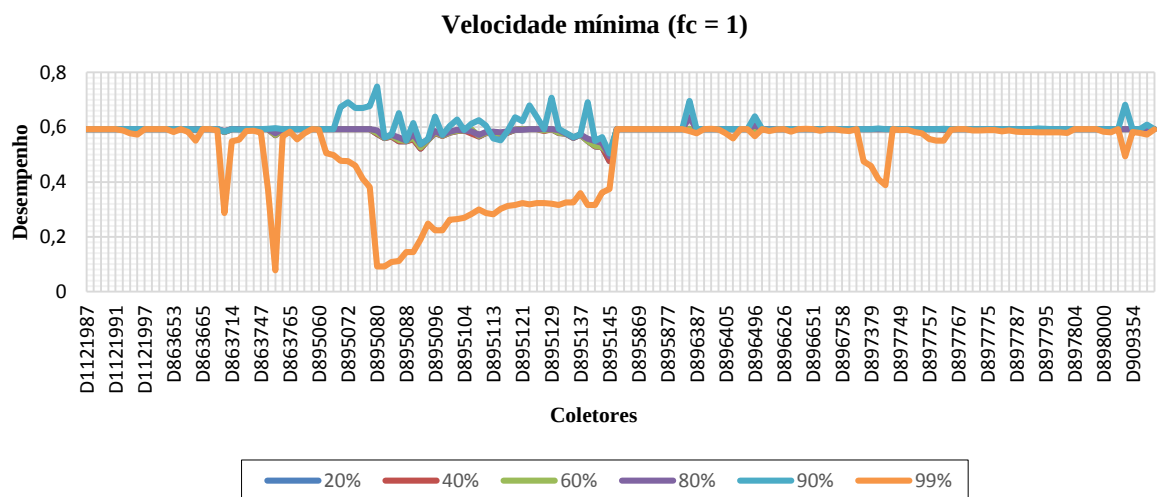


Figura A.6 – Identificação de coletores críticos no sistema, avaliando o desempenho da velocidade mínima de escoamento para um fator de carga 1 e diferentes níveis de sedimentação

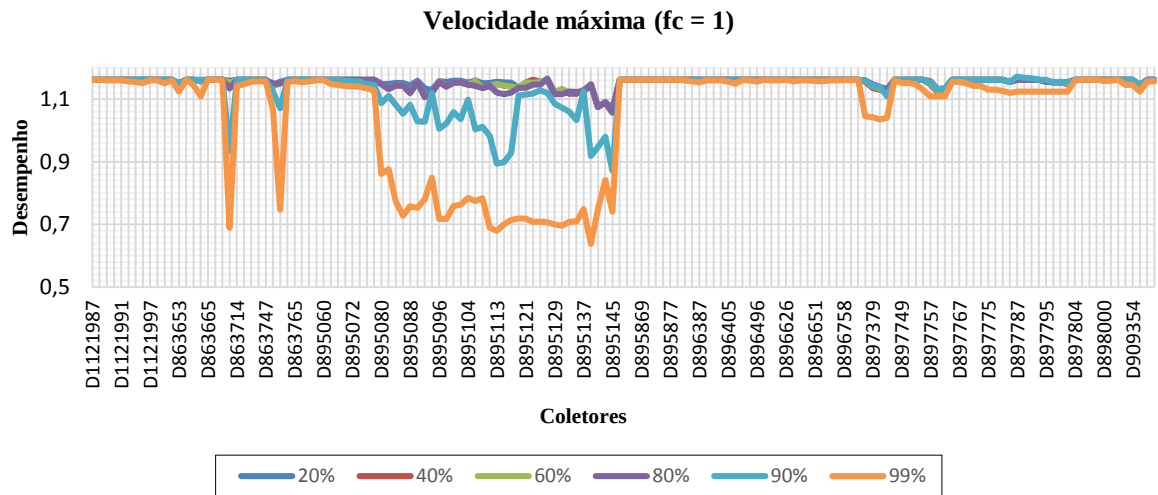


Figura A.7 – Identificação de coletores críticos no sistema, avaliando o desempenho da velocidade máxima de escoamento para um fator de carga 1 e diferentes níveis de sedimentação

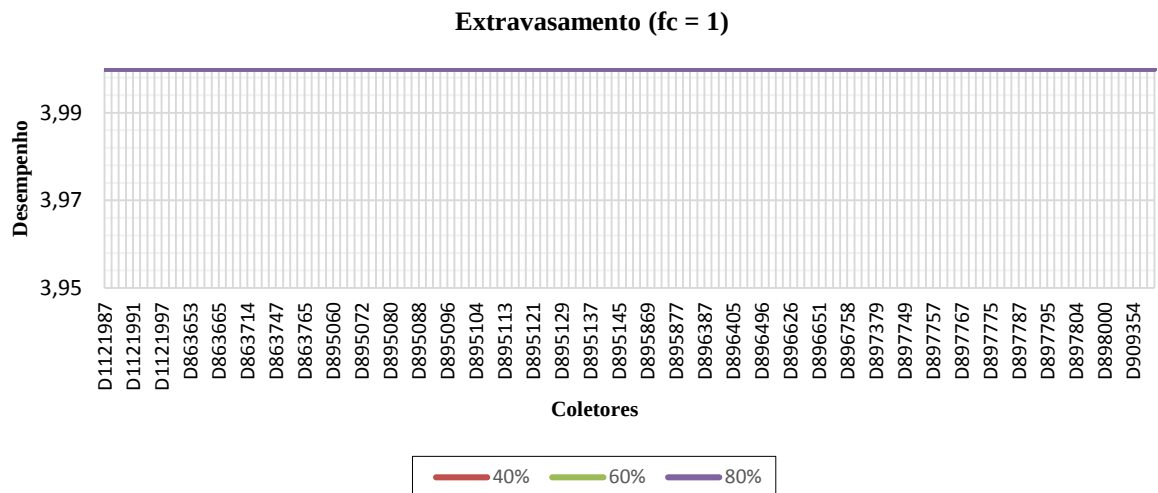


Figura A.8 – Identificação de coletores críticos no sistema que causam o extravasamento em câmaras de visita, para um fator de carga 1 e diferentes níveis de sedimentação

- **Análise ao nível do componente**

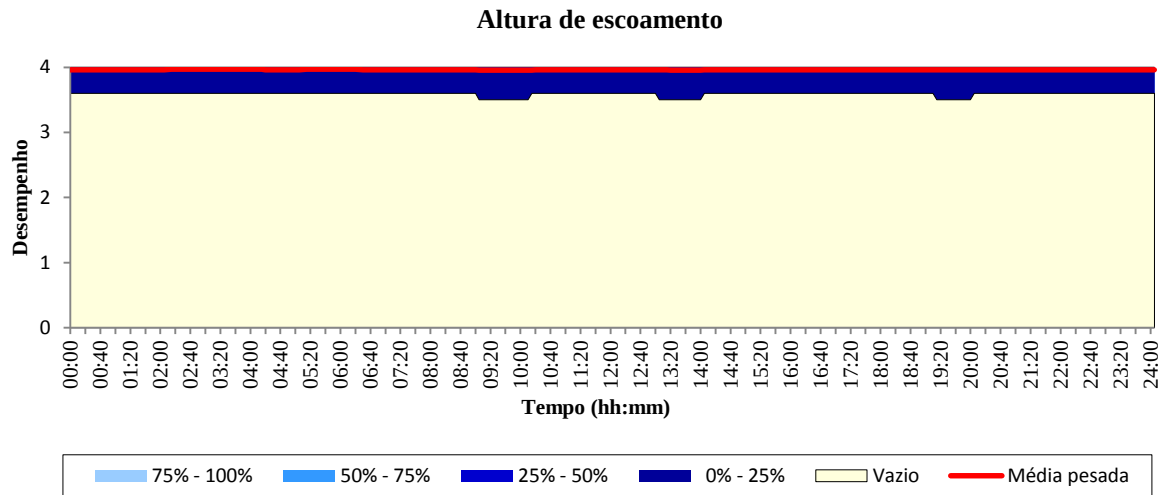


Figura A.9 – Evento de tempo seco com base no desempenho da altura de escoamento, para um fator de carga 1 e um nível de sedimentação de 60%

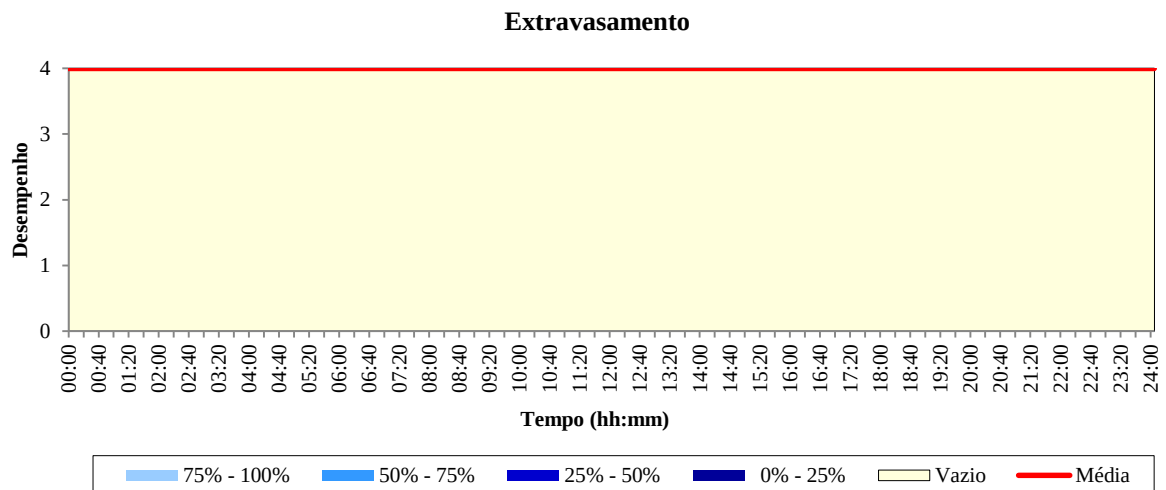


Figura A.10 – Evento de tempo seco com base no extravasamento do sistema, para um fator de carga 1 e um nível de sedimentação de 60%

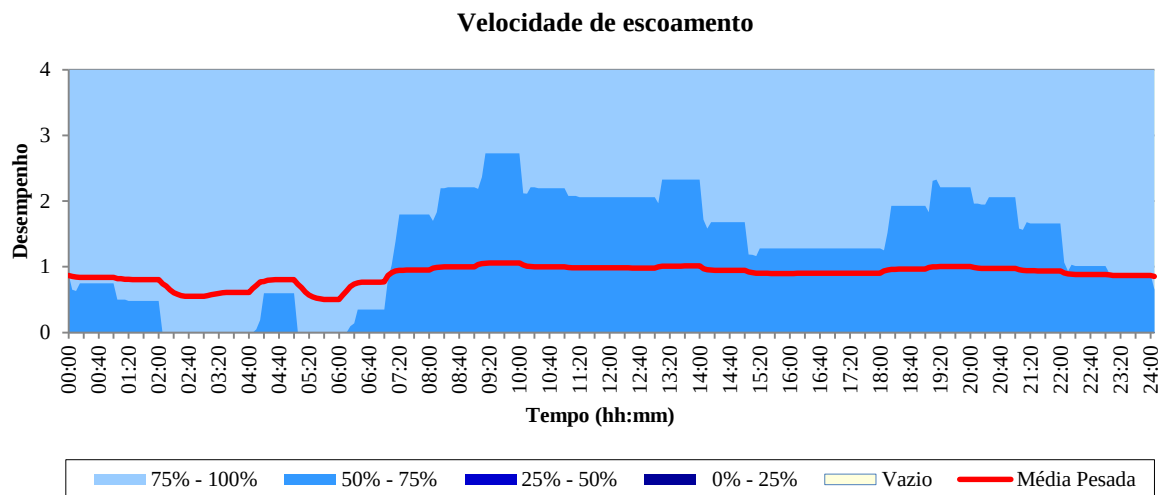


Figura A.11 – Evento de tempo seco com base no desempenho da velocidade de escoamento, para um fator de carga 8 e um nível de sedimentação de 60%

• Representação em SIG



Figura A.12 – Importância de componentes com base na avaliação da altura de escoamento, para um cenário de $f_c = 1$ e um nível de sedimentação de 60%



Figura A.13 – Importância de componentes com base na avaliação do extravasamento de câmaras de visita, para um cenário de $fc = 1$ e um nível de sedimentação de 60%



Figura A.14 – Importância de componentes com base na avaliação da velocidade mínima de escoamento, para um cenário de $fc = 1$ e um nível de sedimentação de 60%

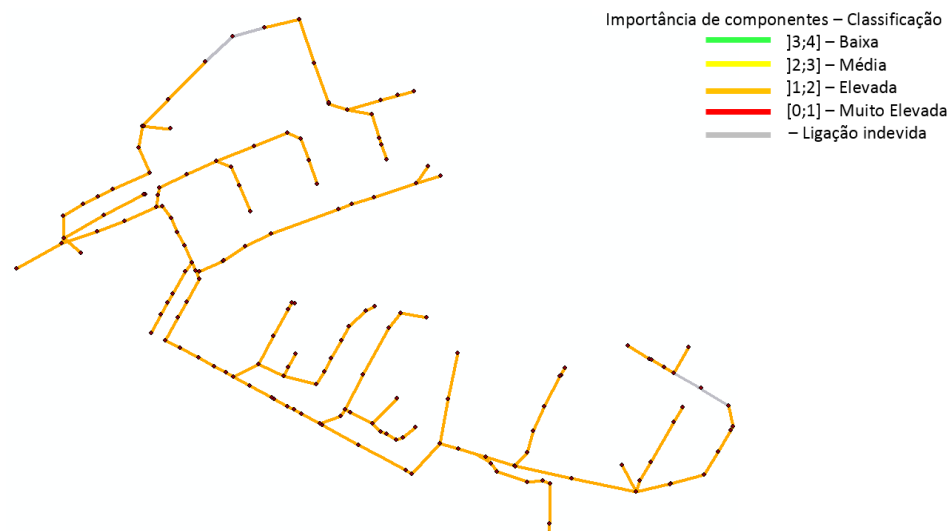


Figura A.15 – Importância de componentes com base na avaliação da velocidade máxima de escoamento, para um cenário de $fc = 1$ e um nível de sedimentação de 60%

A2 Resultados para a situação mais desfavorável ($fc = 2$)

- **Análise geral**

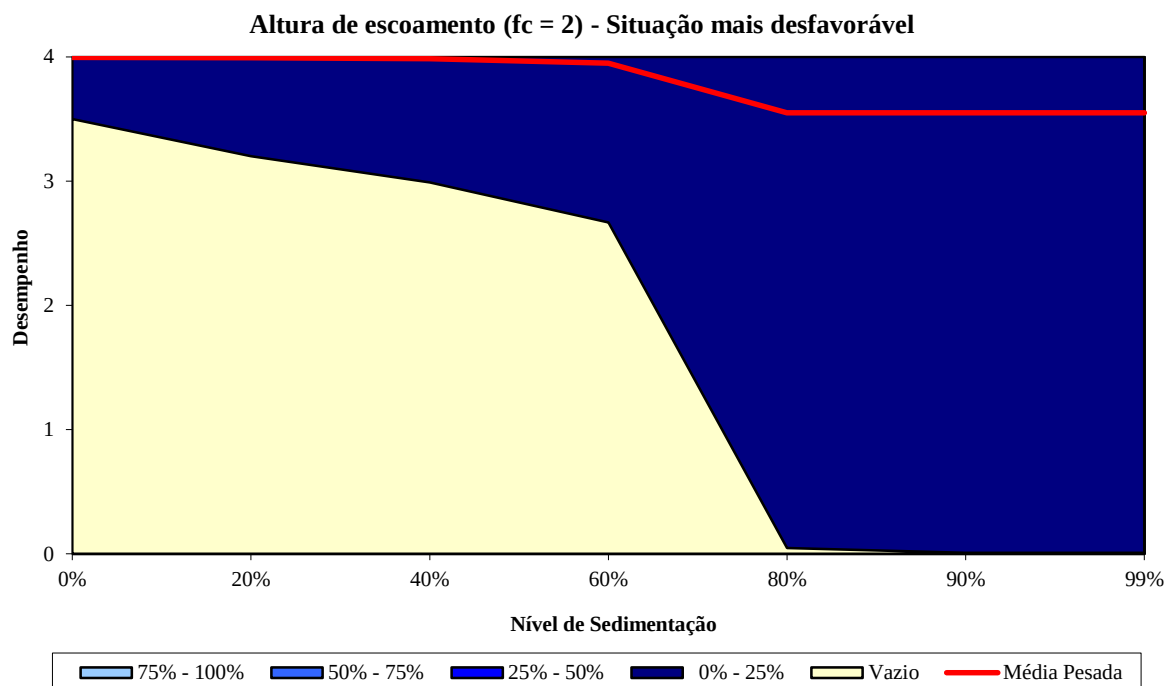


Figura A.16 – Desempenho da altura de escoamento para a situação mais desfavorável e um fator de carga 2

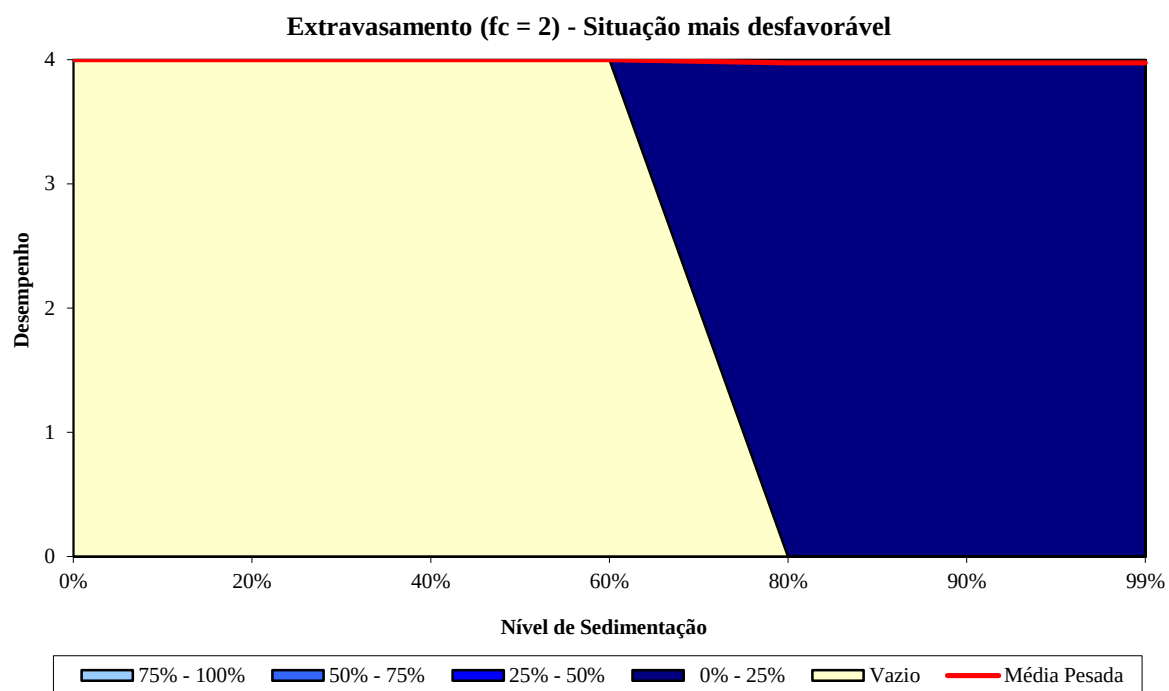


Figura A.17 – Extravasamento do sistema para a situação mais desfavorável e um fator de carga 2

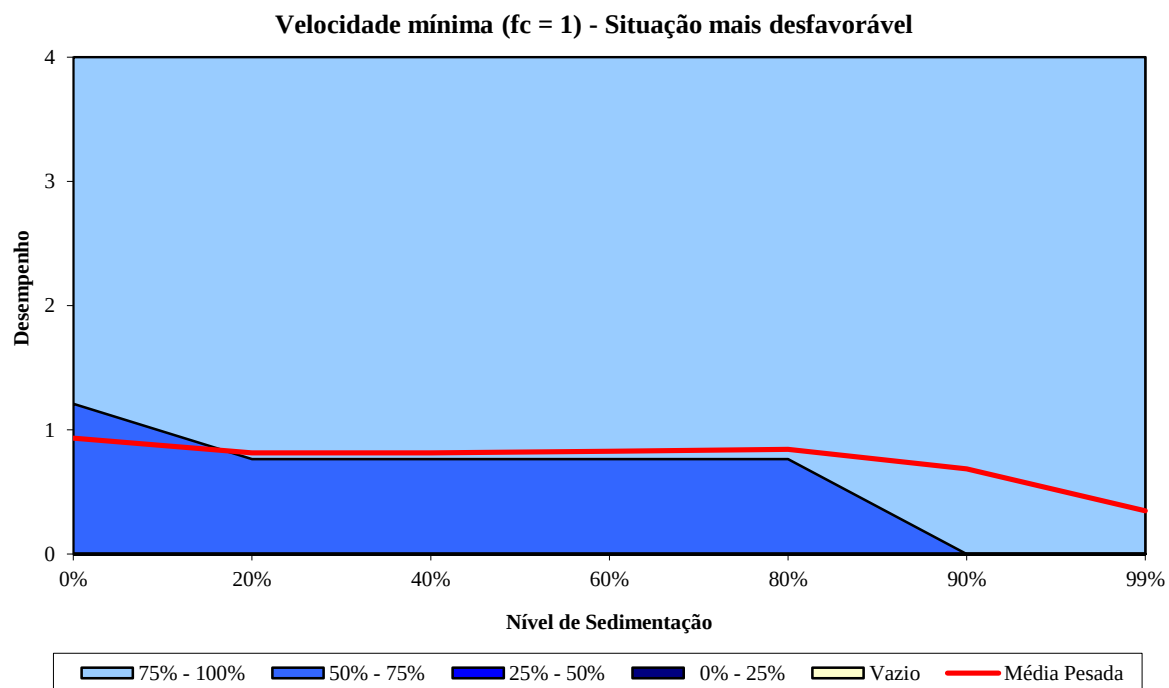


Figura A.18 – Desempenho da velocidade mínima de escoamento para a situação mais desfavorável e um fator de carga 2

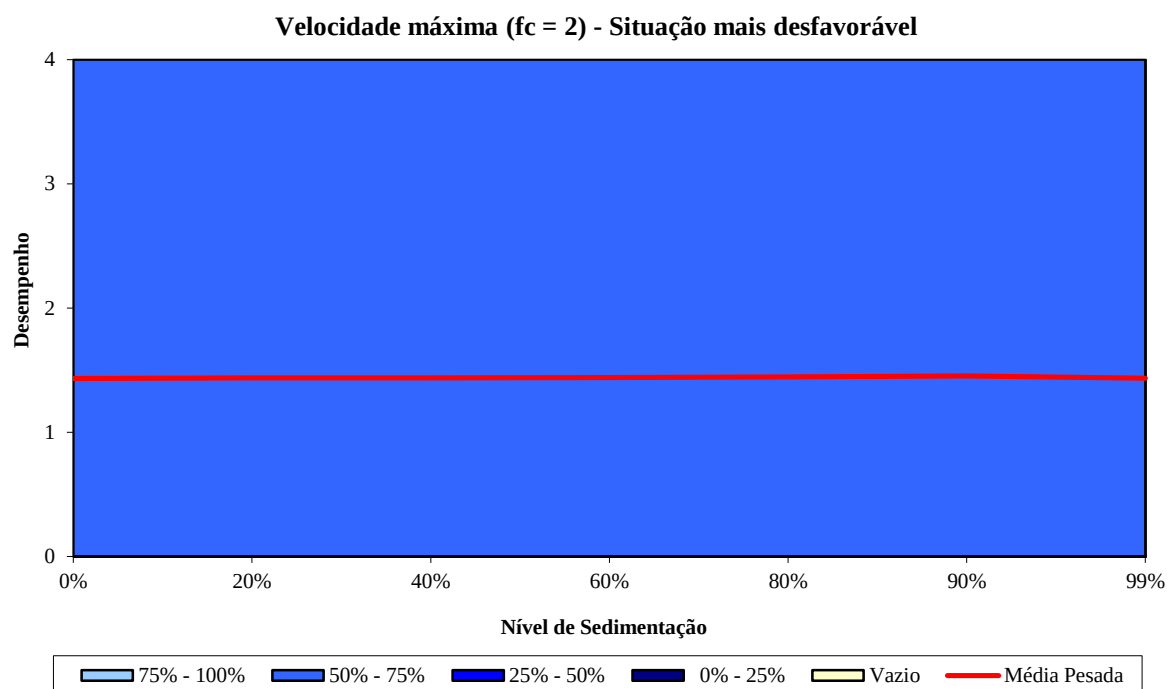


Figura A.19 – Desempenho da velocidade máxima de escoamento para a situação mais desfavorável e um fator de carga 2

- Avaliação da criticidade dos coletores**

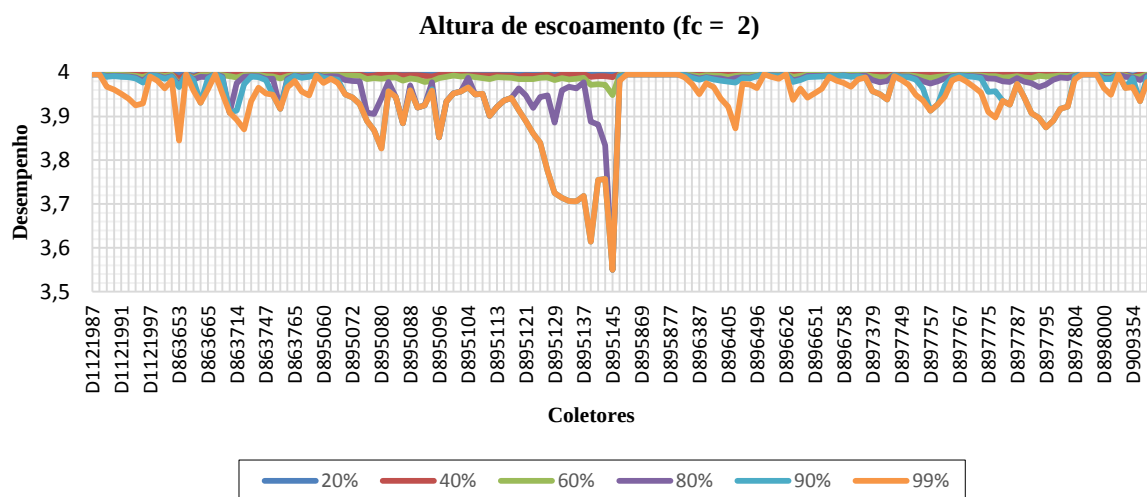


Figura A.20 – Identificação de coletores críticos no sistema, avaliando o desempenho da altura de escoamento para um fator de carga 2 e diferentes níveis de sedimentação

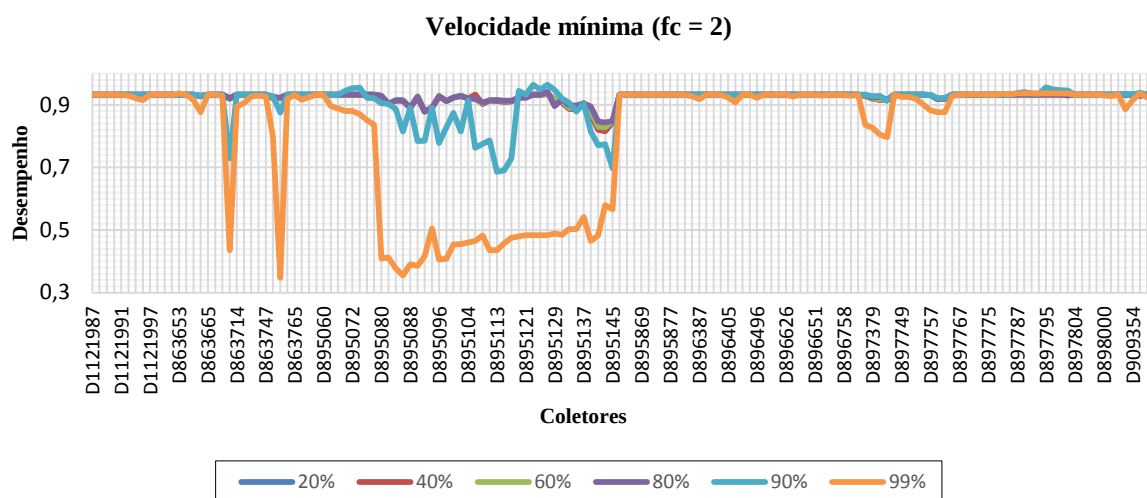


Figura A.21 – Identificação de coletores críticos no sistema, avaliando o desempenho da velocidade mínima de escoamento para um fator de carga 2 e diferentes níveis de sedimentação

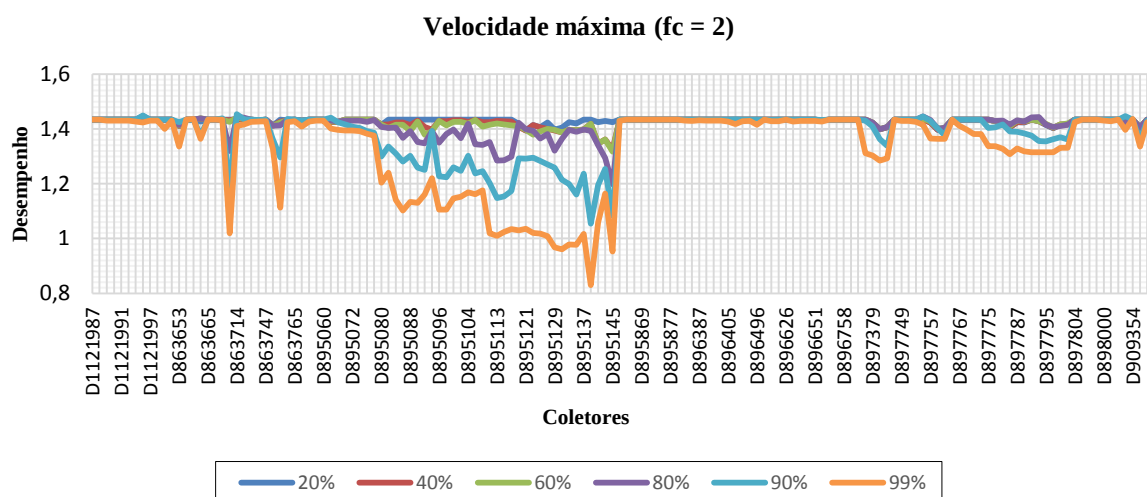


Figura A.22 – Identificação de coletores críticos no sistema, avaliando o desempenho da velocidade máxima de escoamento para um fator de carga 2 e diferentes níveis de sedimentação

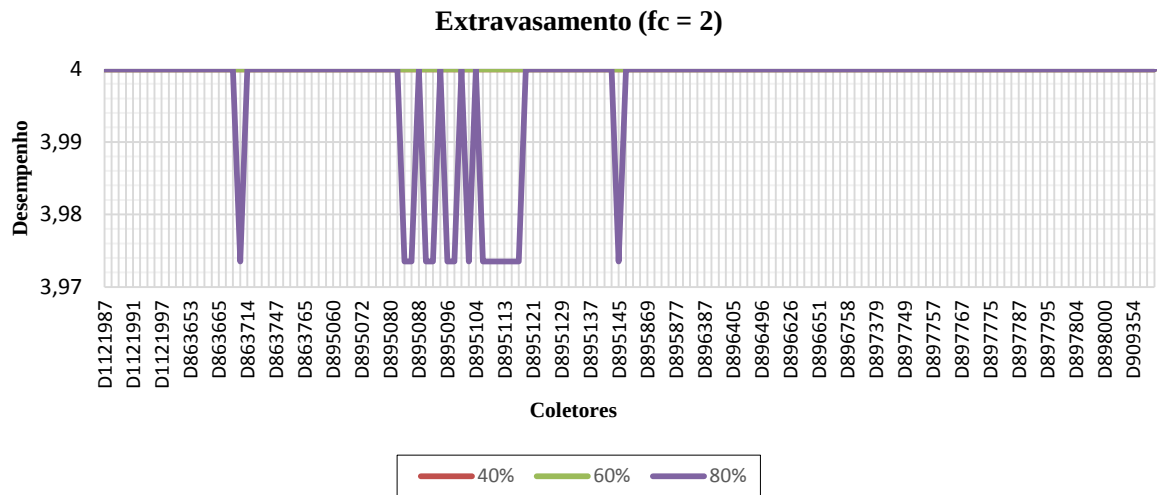


Figura A.23 – Identificação de coletores críticos no sistema que causam o extravasamento em câmaras de visita, para um fator de carga 2 e diferentes níveis de sedimentação

- **Análise ao nível do componente**

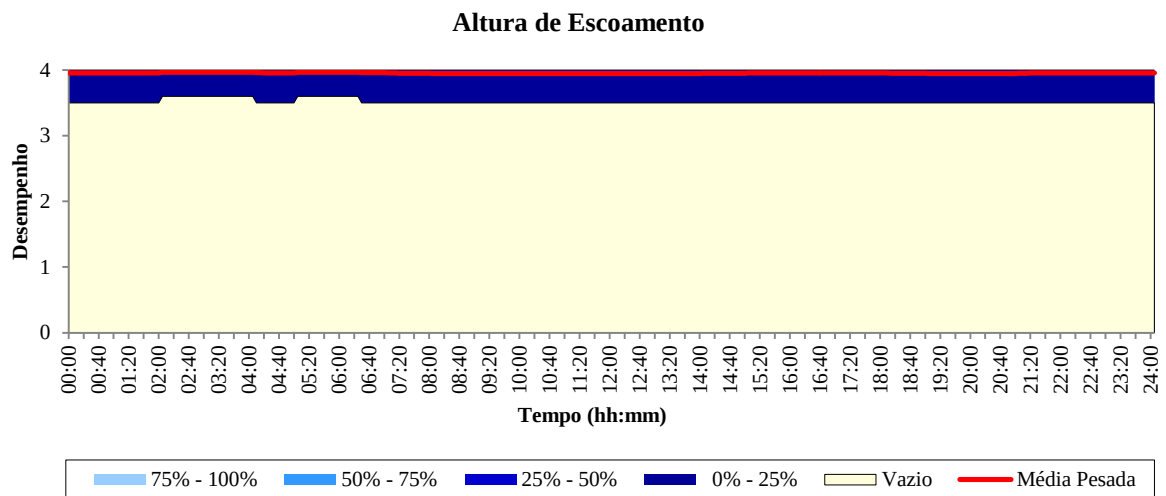


Figura A.24 – Evento de tempo seco com base no desempenho da altura de escoamento, para um fator de carga 2 e um nível de sedimentação de 60%

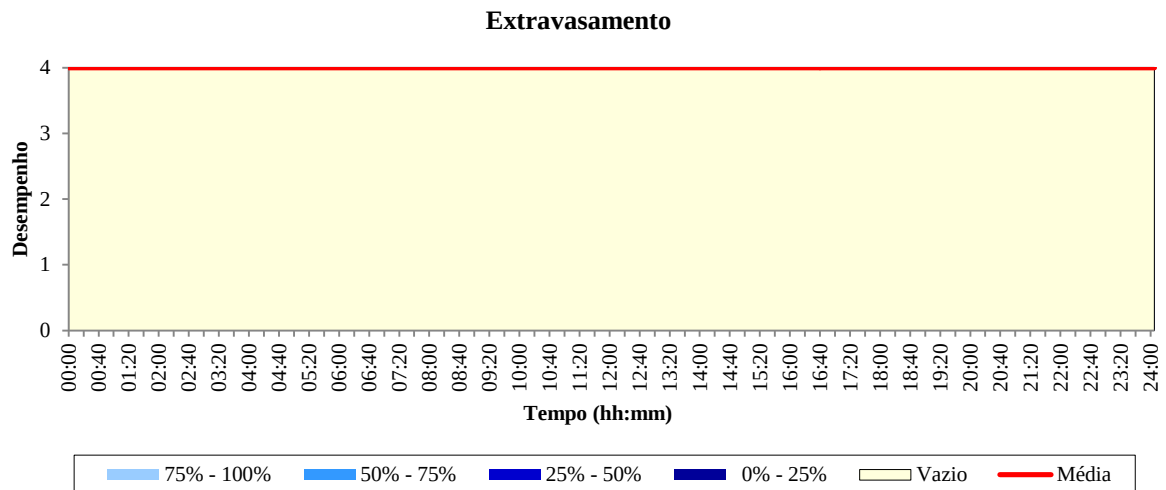


Figura A.25 – Evento de tempo seco com base no extravasamento do sistema, para um fator de carga 2 e um nível de sedimentação de 60%

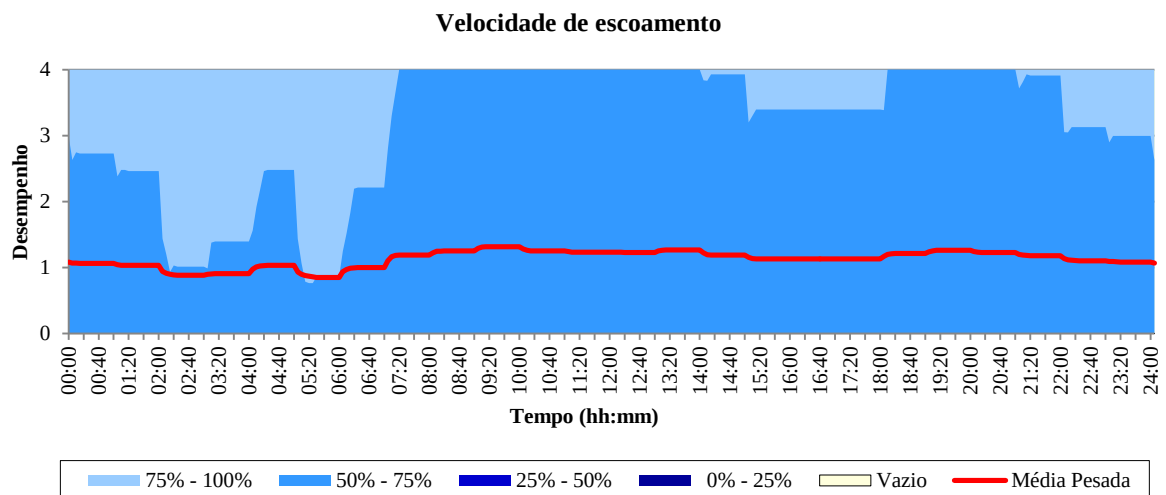


Figura A.26 – Evento de tempo seco com base no desempenho da velocidade de escoamento, para um fator de carga 2 e um nível de sedimentação de 60%

- **Representação em SIG**



Figura A.27 – Importância de componentes com base na avaliação da altura de escoamento, para um cenário de $fc = 2$ e um nível de sedimentação de 60%

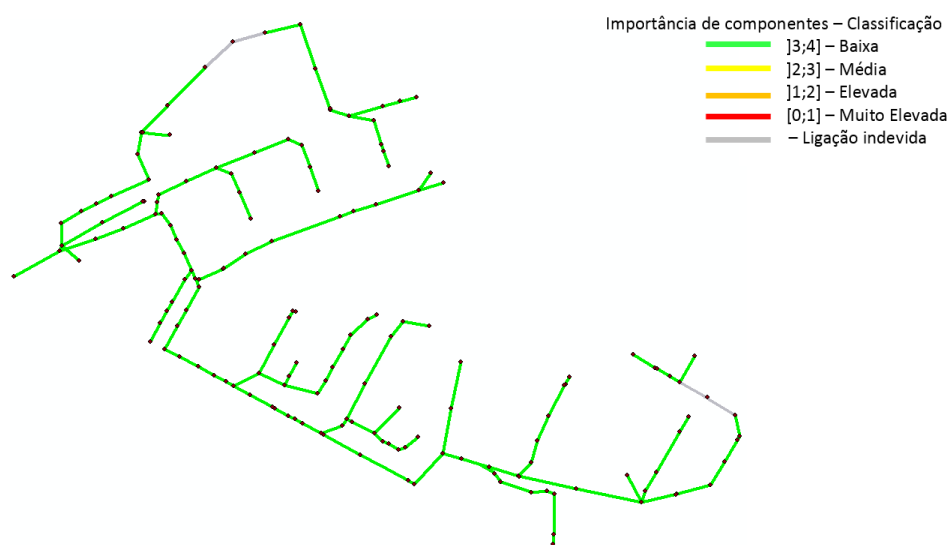


Figura A.28 – Importância de componentes com base na avaliação do extravasamento de câmaras de visita, para um cenário de $fc = 2$ e um nível de sedimentação de 60%

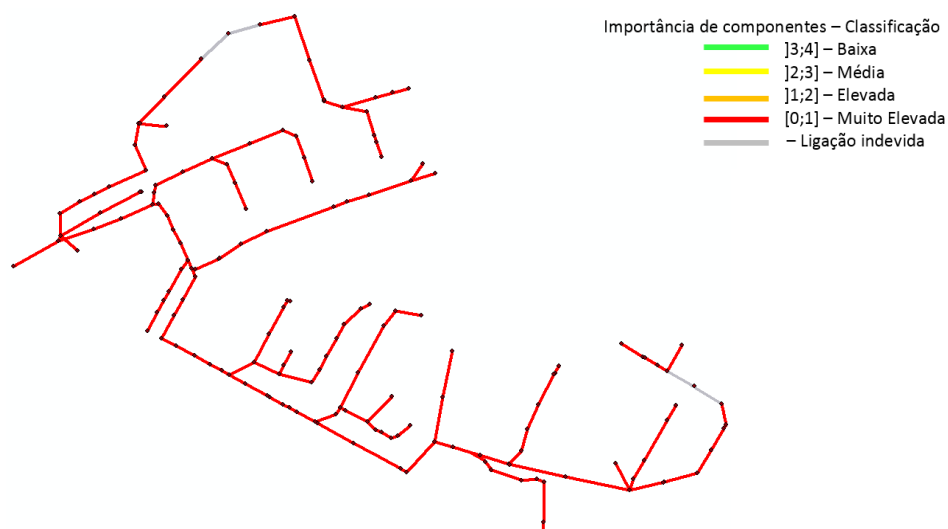


Figura A.29 – Importância de componentes com base na avaliação da velocidade mínima de escoamento, para um cenário de $fc = 2$ e um nível de sedimentação de 60%



Figura A.30 – Importância de componentes com base na avaliação da velocidade máxima de escoamento, para um cenário de $fc = 2$ e um nível de sedimentação de 60%

A3 Resultados para a situação mais desfavorável ($fc = 4$)

- **Análise geral**

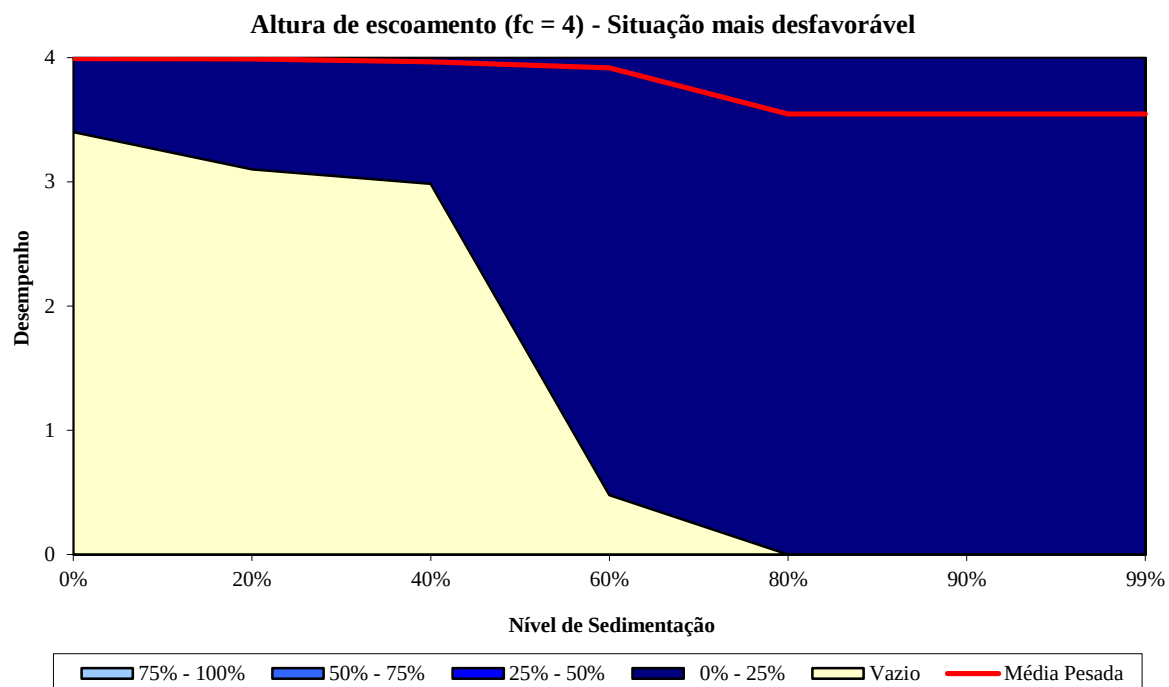


Figura A.31 – Desempenho da altura de escoamento para a situação mais desfavorável e um fator de carga 4

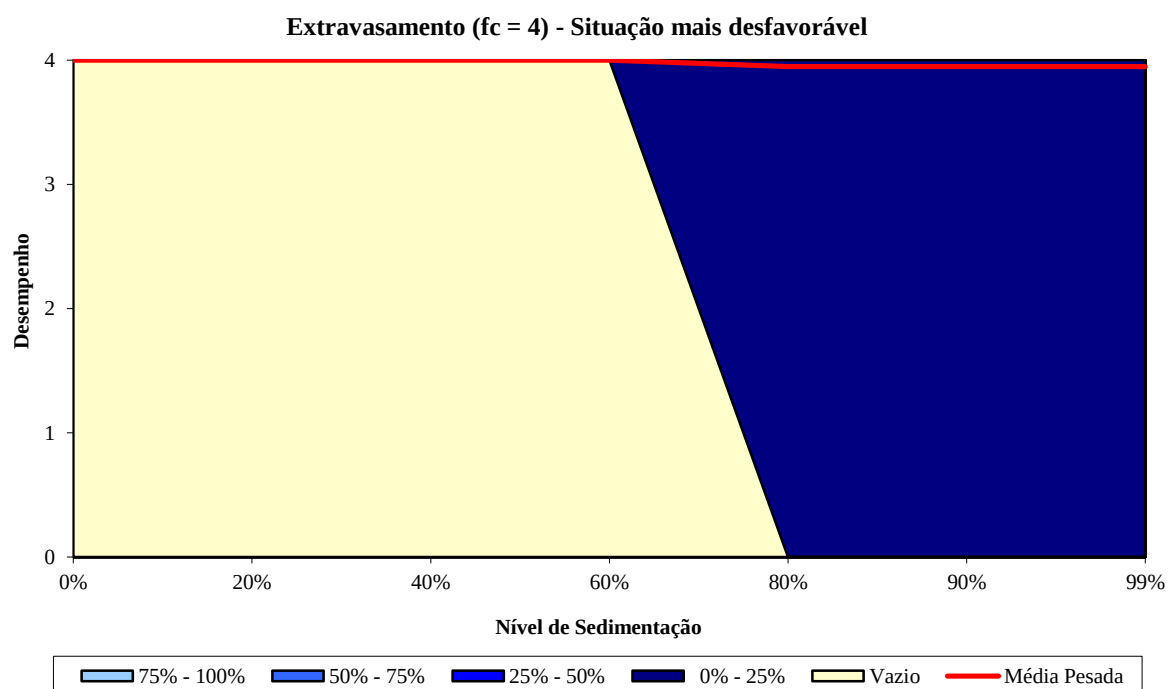


Figura A.32 – Extravasamento do sistema para a situação mais desfavorável e um fator de carga 4

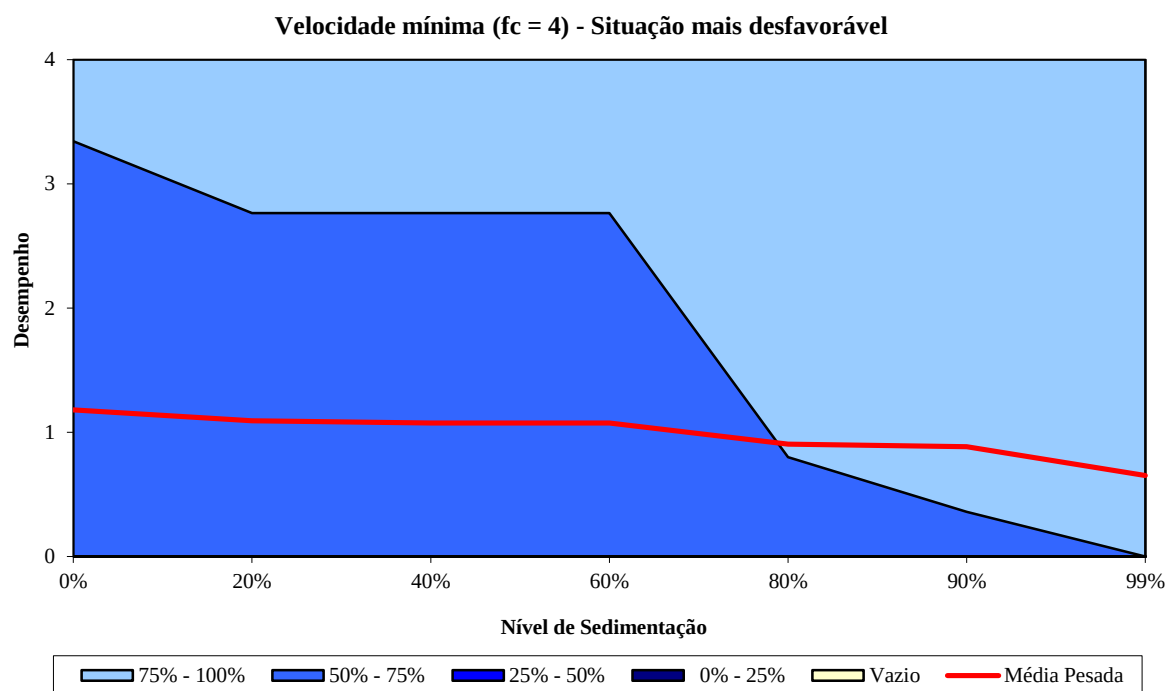


Figura A.33 – Desempenho da velocidade mínima de escoamento para a situação mais desfavorável e um fator de carga 4

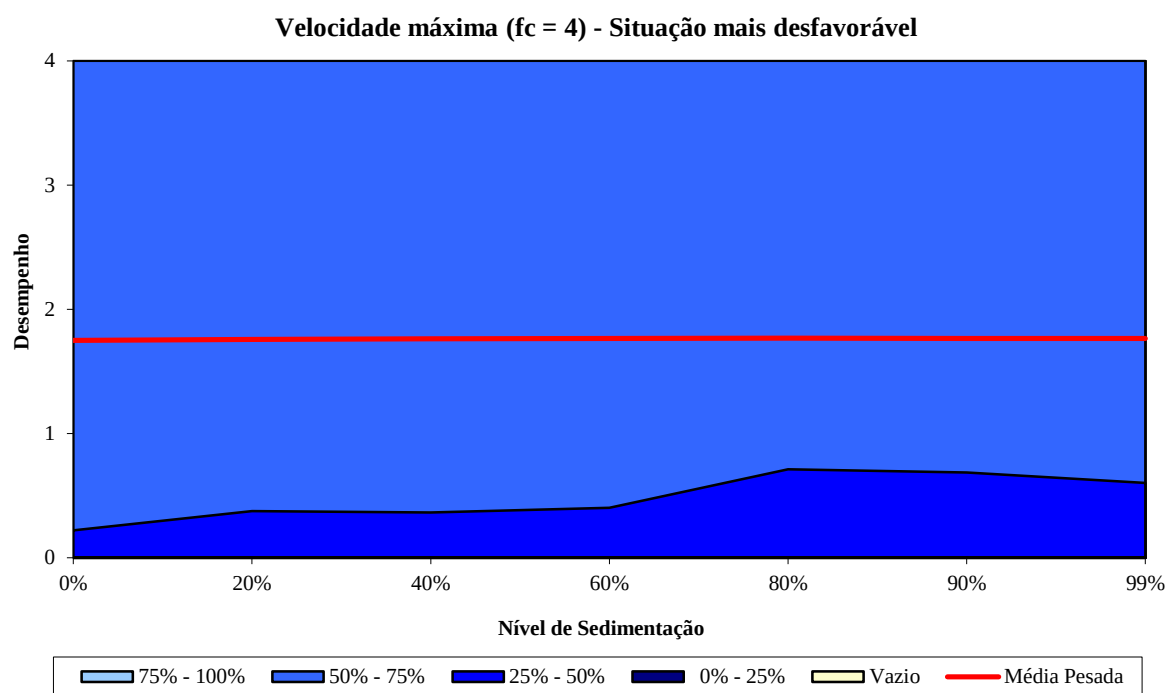


Figura A.34 – Desempenho da velocidade máxima de escoamento para a situação mais desfavorável e um fator de carga 4

- Avaliação da criticidade dos coletores**

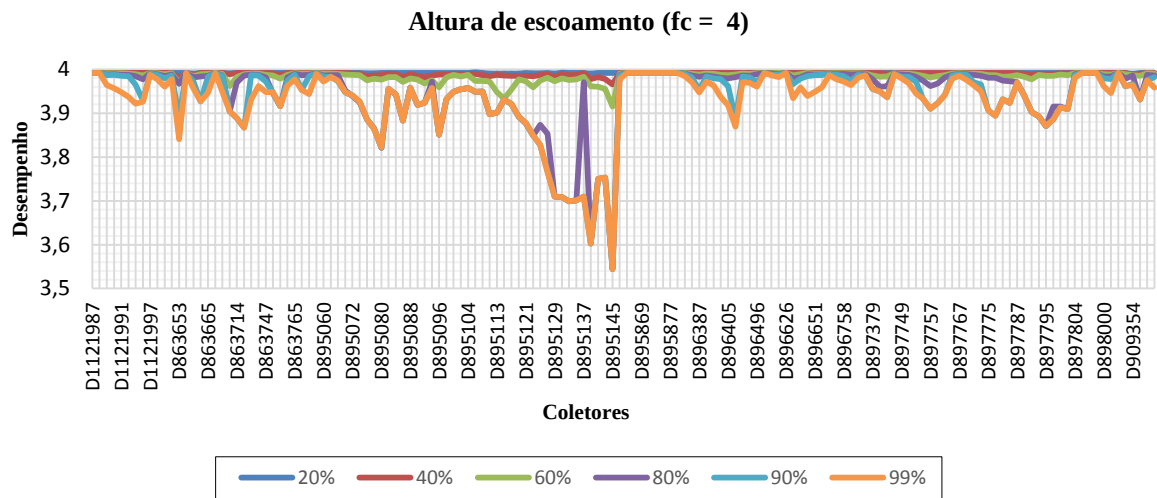


Figura A.35 – Identificação de coletores críticos no sistema, avaliando o desempenho da altura de escoamento para um fator de carga 4 e diferentes níveis de sedimentação

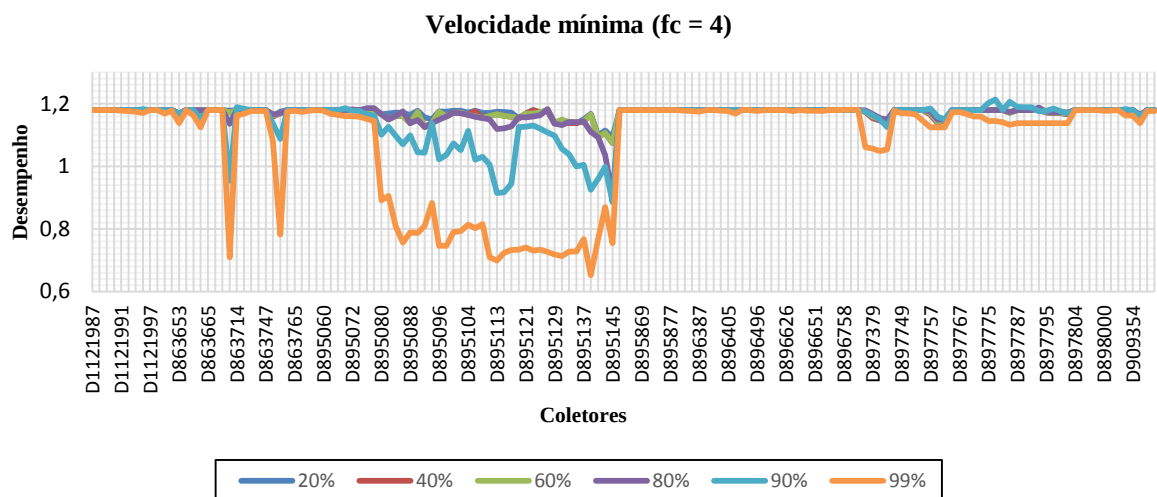


Figura A.36 – Identificação de coletores críticos no sistema, avaliando o desempenho da velocidade mínima de escoamento para um fator de carga 4 e diferentes níveis de sedimentação

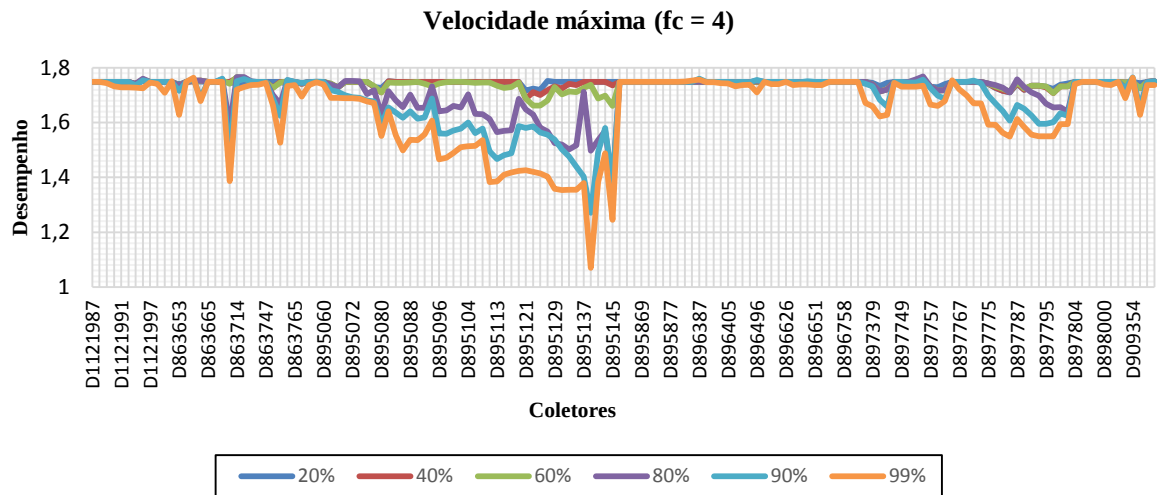


Figura A.37 – Identificação de coletores críticos no sistema, avaliando o desempenho da velocidade máxima de escoamento para um fator de carga 4 e diferentes níveis de sedimentação

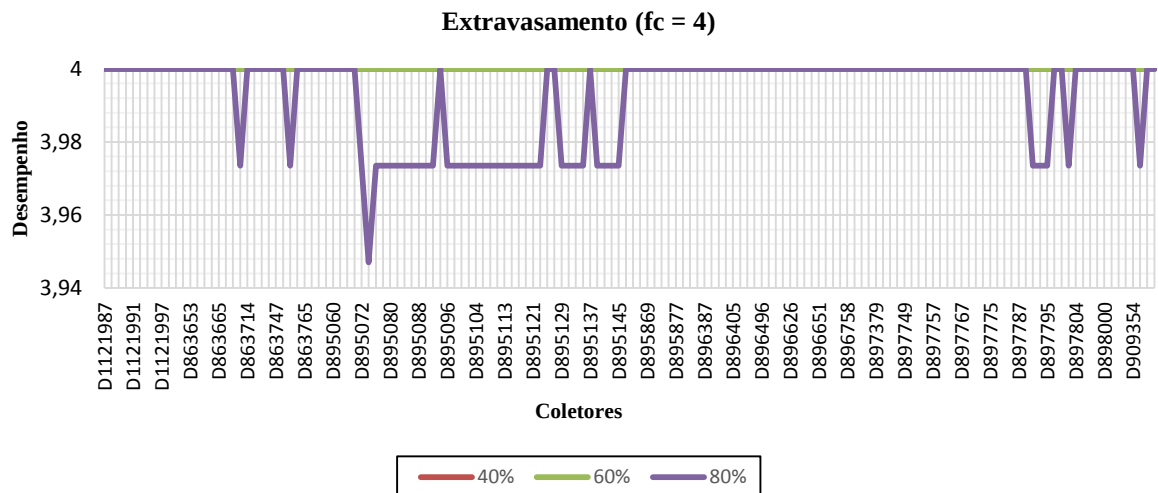


Figura A.38 – Identificação de coletores críticos no sistema que causam o extravasamento em câmaras de visita, para um fator de carga 4 e diferentes níveis de sedimentação

- **Análise ao nível do componente**

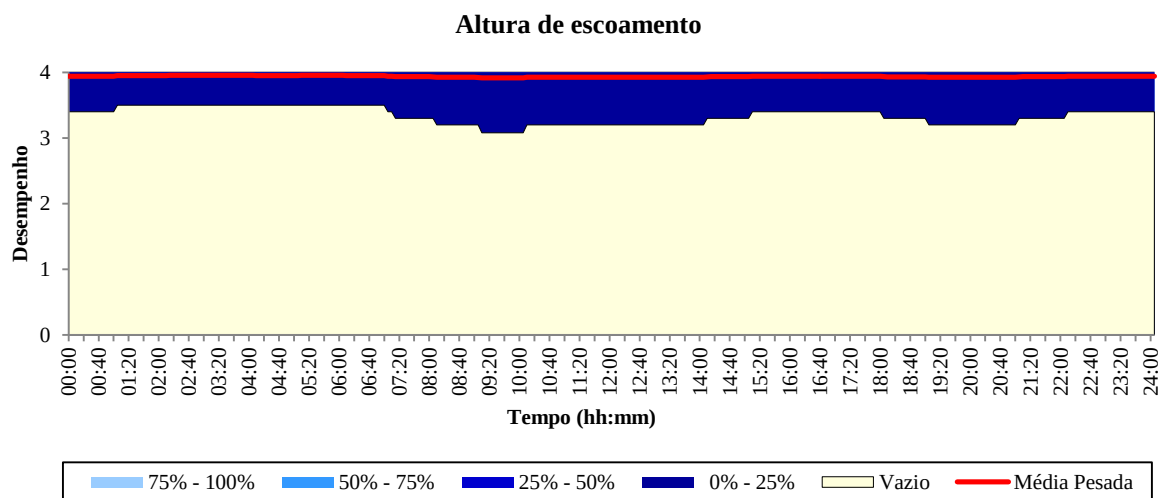


Figura A.39 – Evento de tempo seco com base no desempenho da altura de escoamento, para um fator de carga 4 e um nível de sedimentação de 60%

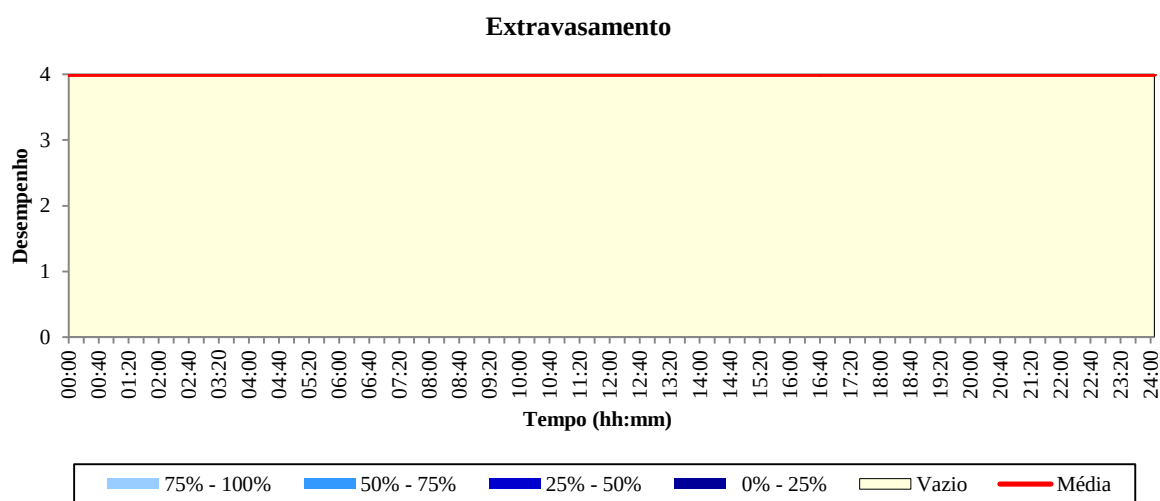


Figura A.40 – Evento de tempo seco com base no extravasamento do sistema, para um fator de carga 4 e um nível de sedimentação de 60%

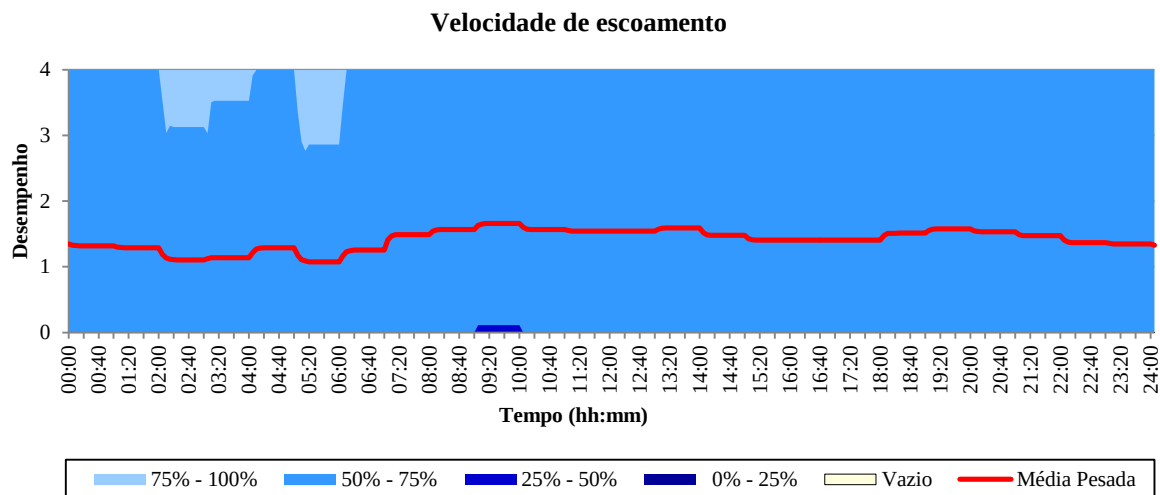


Figura A.41 – Evento de tempo seco com base no desempenho da velocidade de escoamento, para um fator de carga 4 e um nível de sedimentação de 60%

- **Representação em SIG**



Figura A.42 – Importância de componentes com base na avaliação da altura de escoamento, para um cenário de $fc = 4$ e um nível de sedimentação de 60%



Figura A.43 – Importância de componentes com base na avaliação do extravasamento de câmaras de visita, para um cenário de $fc = 4$ e um nível de sedimentação de 60%



Figura A.44 – Importância de componentes com base na avaliação da velocidade mínima de escoamento, para um cenário de $fc = 4$ e um nível de sedimentação de 60%

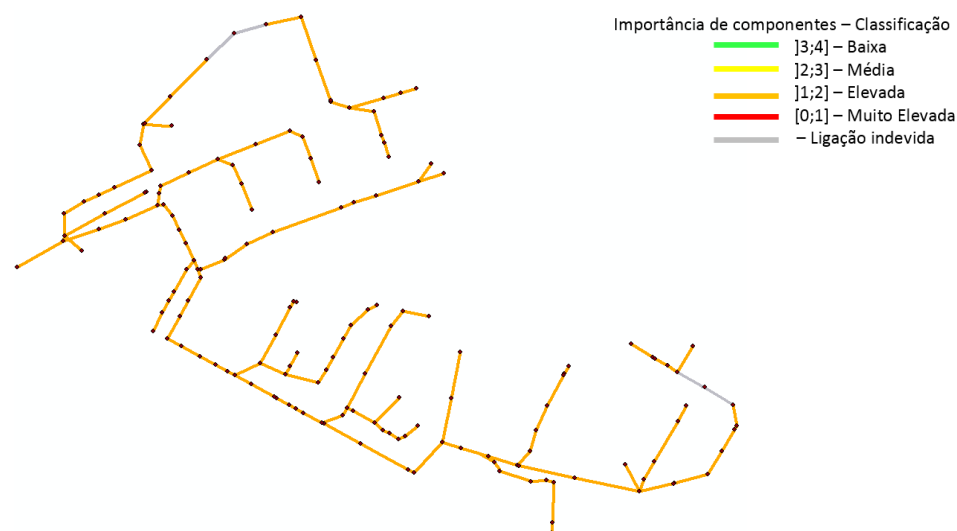


Figura A.45 – Importância de componentes com base na avaliação da velocidade máxima de escoamento, para um cenário de $fc = 4$ e um nível de sedimentação de 60%

A4 Resultados para a situação mais desfavorável ($fc = 16$)

- **Análise geral**

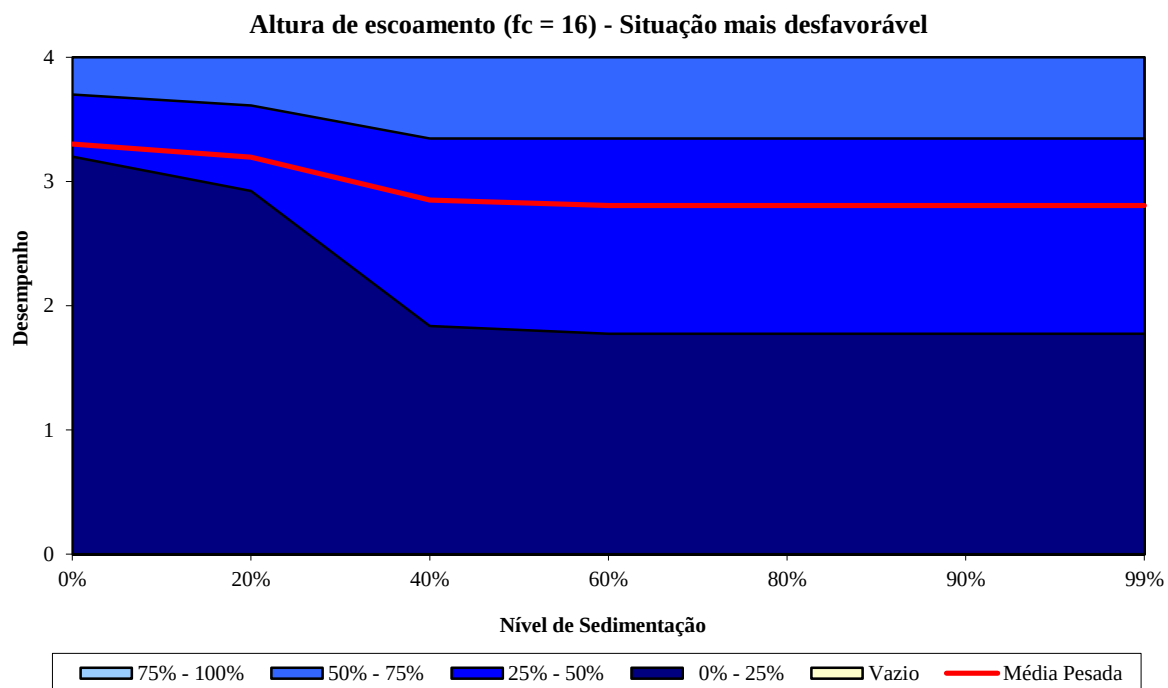


Figura A.46 – Desempenho da altura de escoamento para a situação mais desfavorável e um fator de carga 16

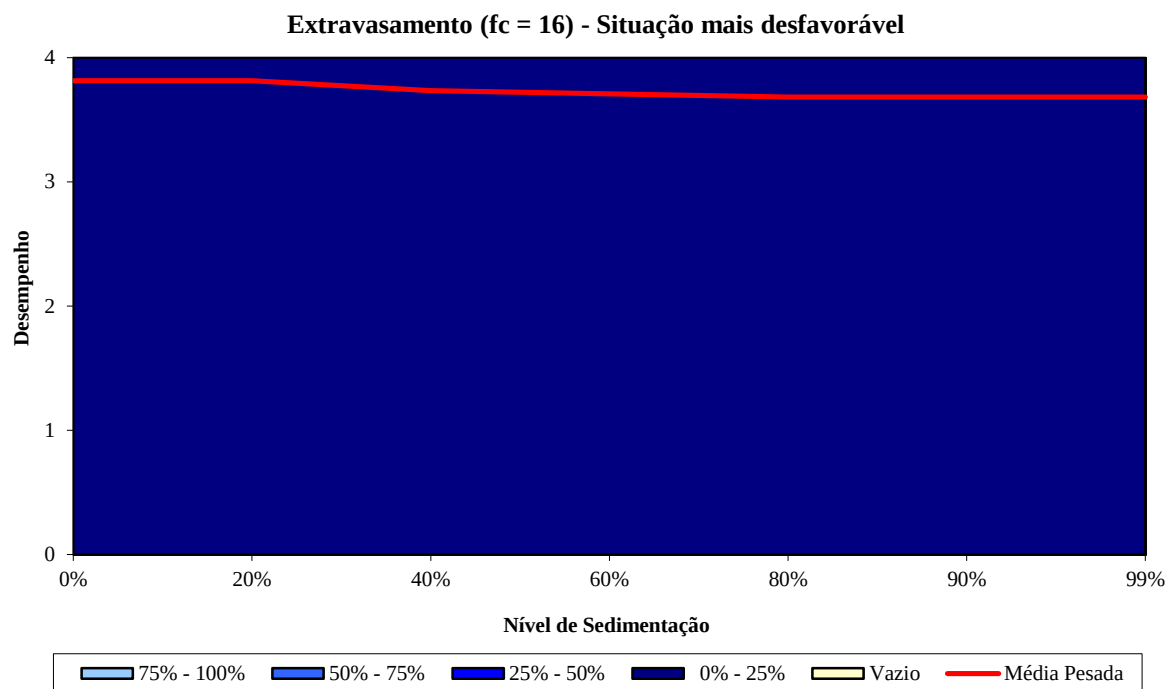


Figura A.47 – Extravasamento do sistema para a situação mais desfavorável e um fator de carga 16

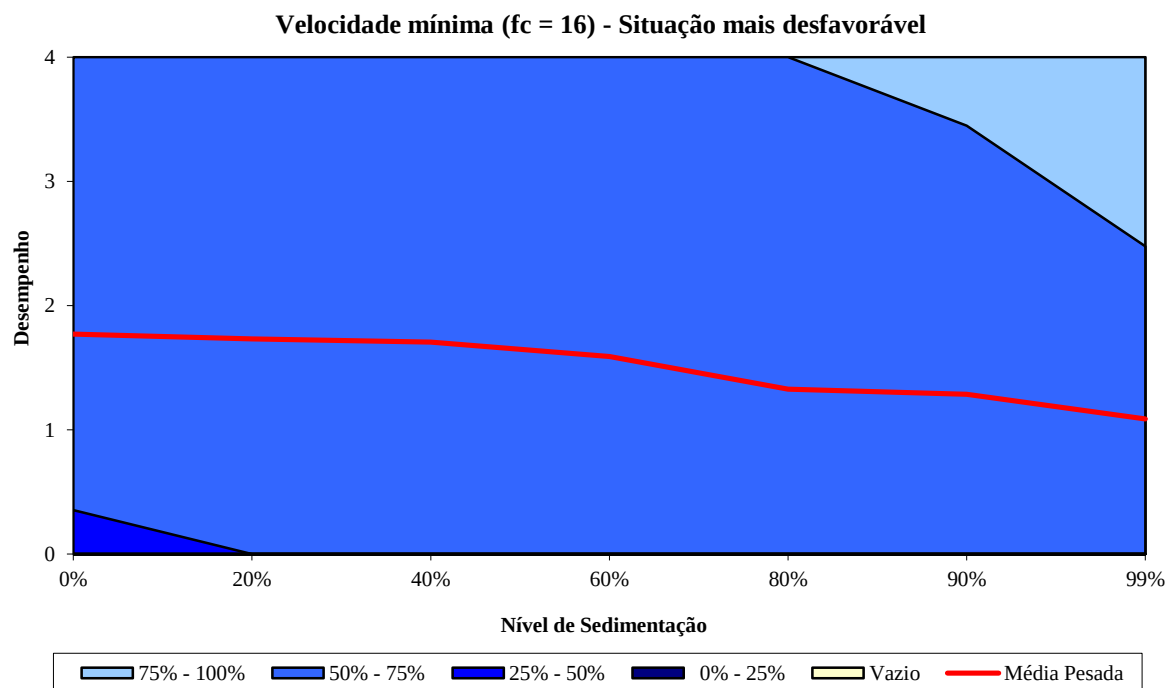


Figura A.48 – Desempenho da velocidade mínima de escoamento para a situação mais desfavorável e um fator de carga 16

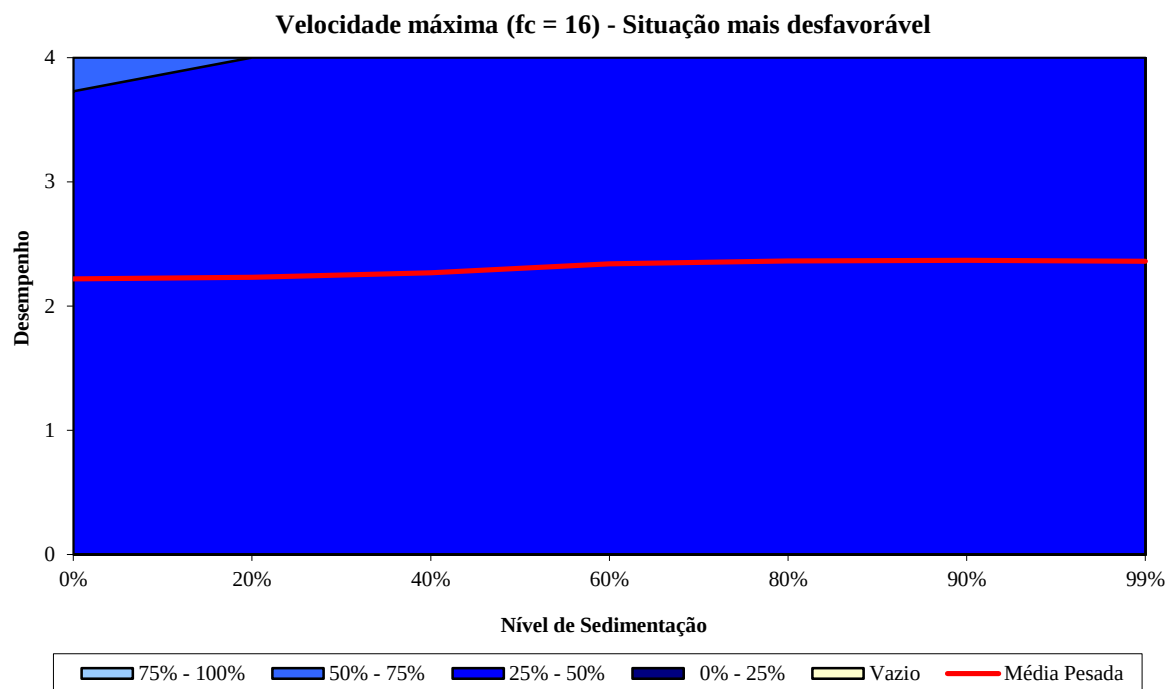


Figura A.49 – Desempenho da velocidade máxima de escoamento para a situação mais desfavorável e um fator de carga 16

- **Avaliação da criticidade dos coletores**

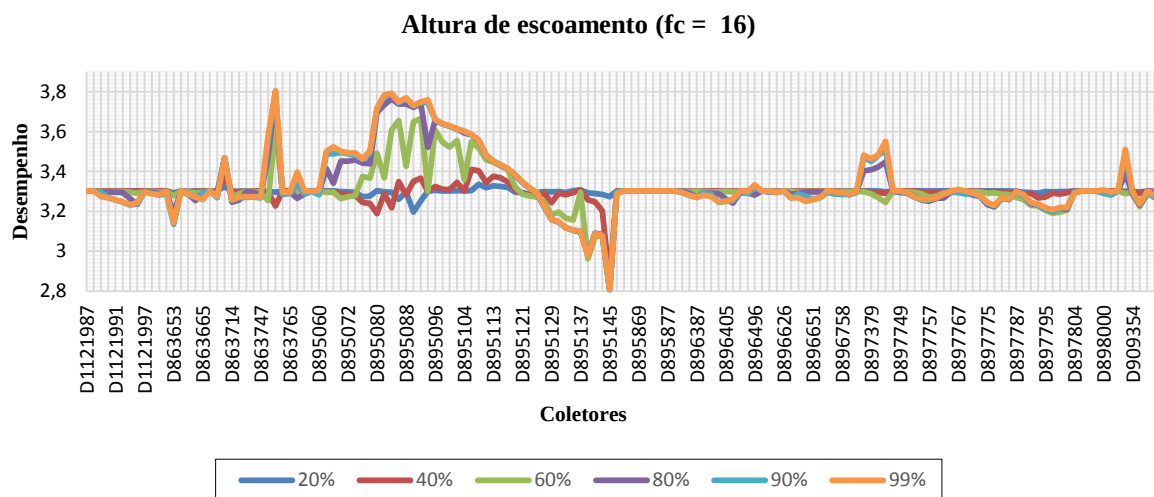


Figura A.50 – Identificação de coletores críticos no sistema, avaliando o desempenho da altura de escoamento para um fator de carga 16 e diferentes níveis de sedimentação

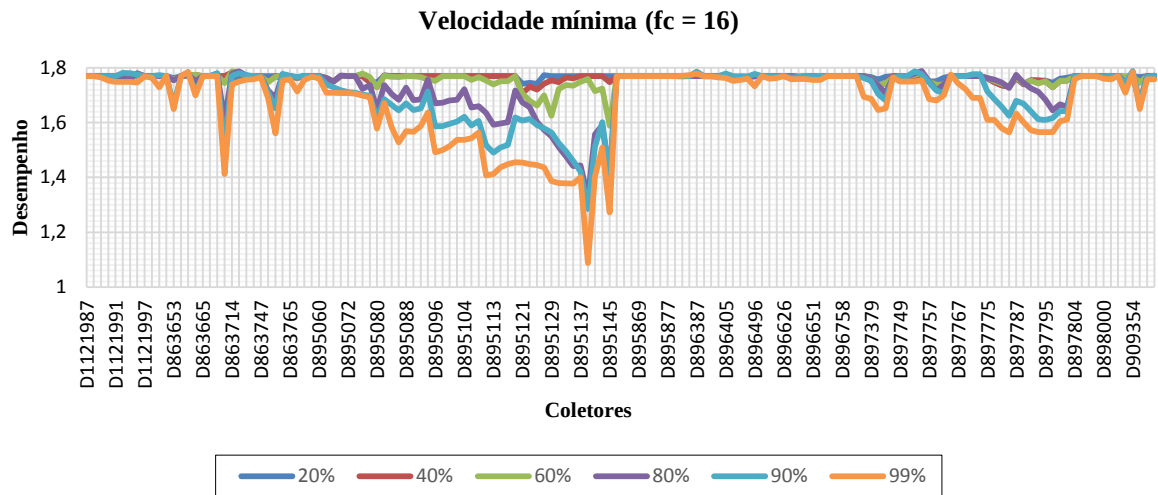


Figura A.51 – Identificação de coletores críticos no sistema, avaliando o desempenho da velocidade mínima de escoamento para um fator de carga 16 e diferentes níveis de sedimentação

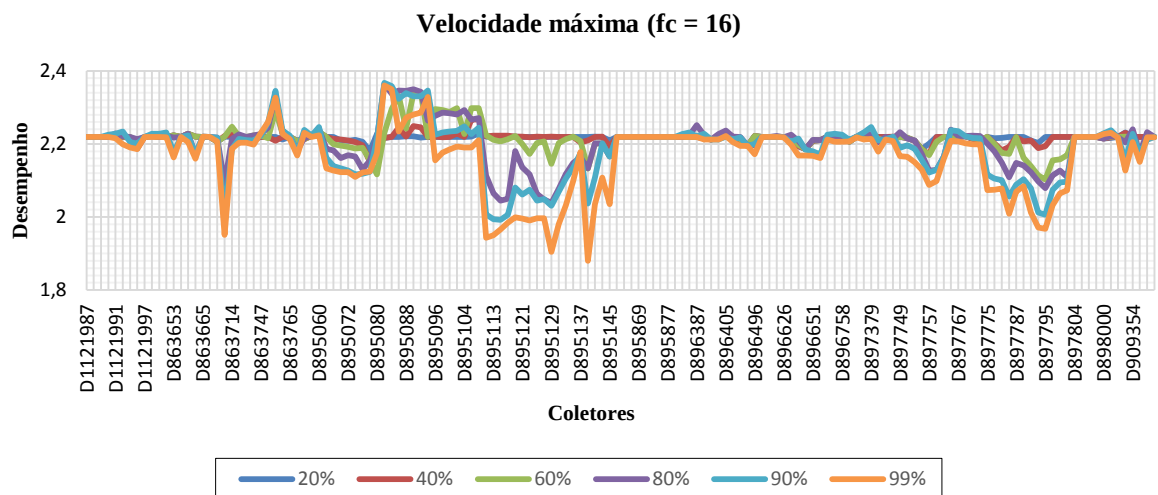


Figura A.52 – Identificação de coletores críticos no sistema, avaliando o desempenho da velocidade máxima de escoamento para um fator de carga 16 e diferentes níveis de sedimentação

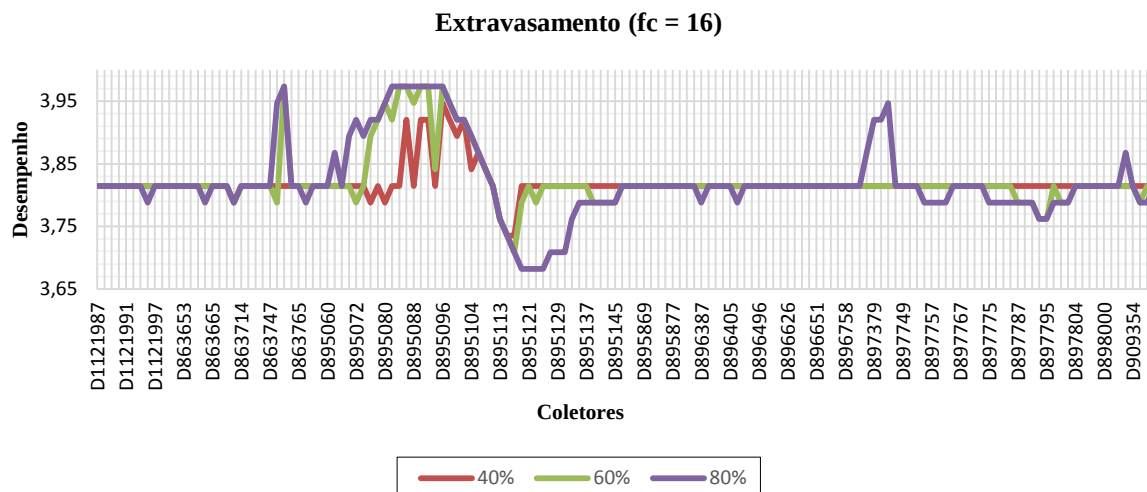


Figura A.53 – Identificação de coletores críticos no sistema que causam o extravasamento em câmaras de visita, para um fator de carga 16 e diferentes níveis de sedimentação

- Análise ao nível do componente**

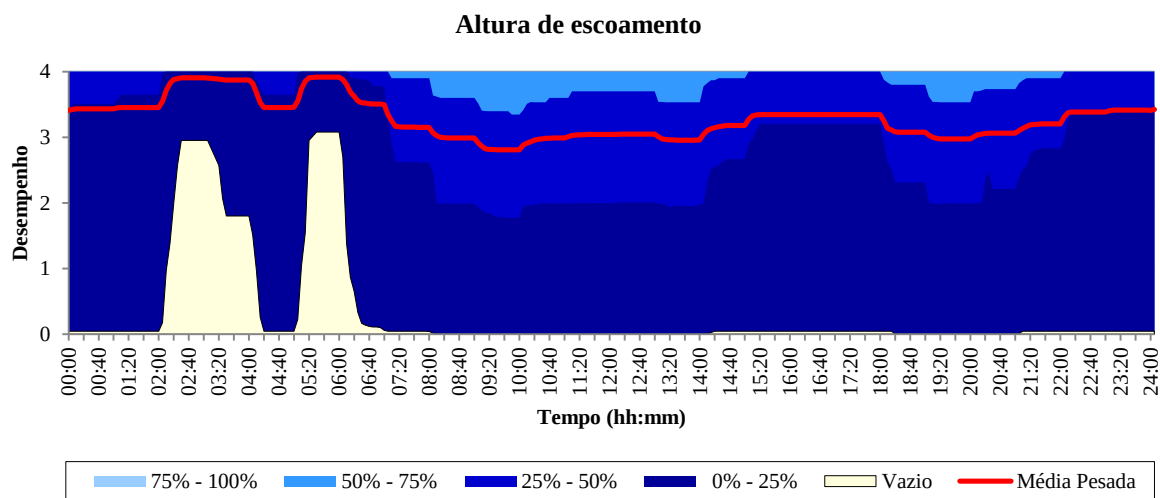


Figura A.54 – Evento de tempo seco com base no desempenho da altura de escoamento, para um fator de carga 16 e um nível de sedimentação de 60%

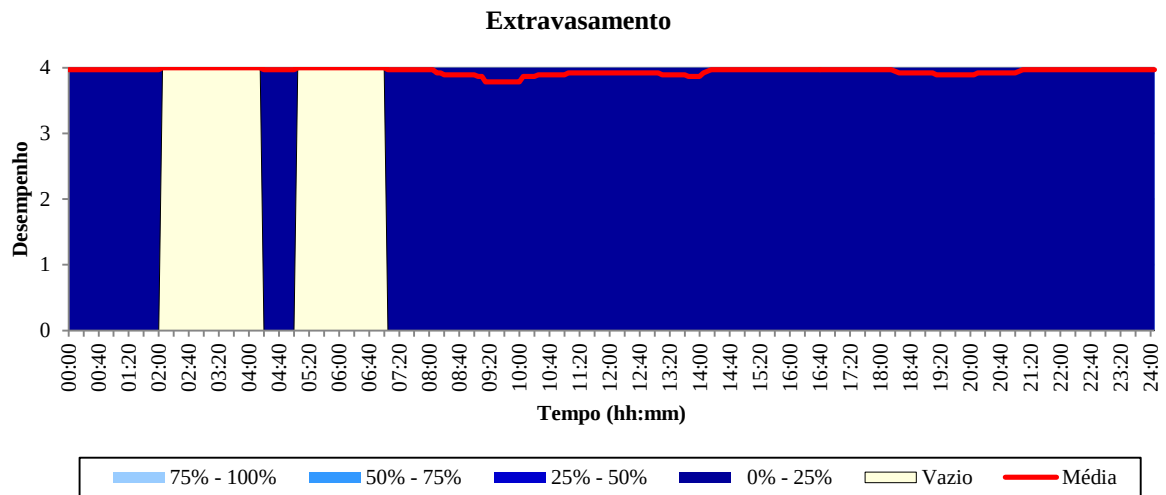


Figura A.55 – Evento de tempo seco com base no extravasamento do sistema, para um fator de carga 16 e um nível de sedimentação de 60%

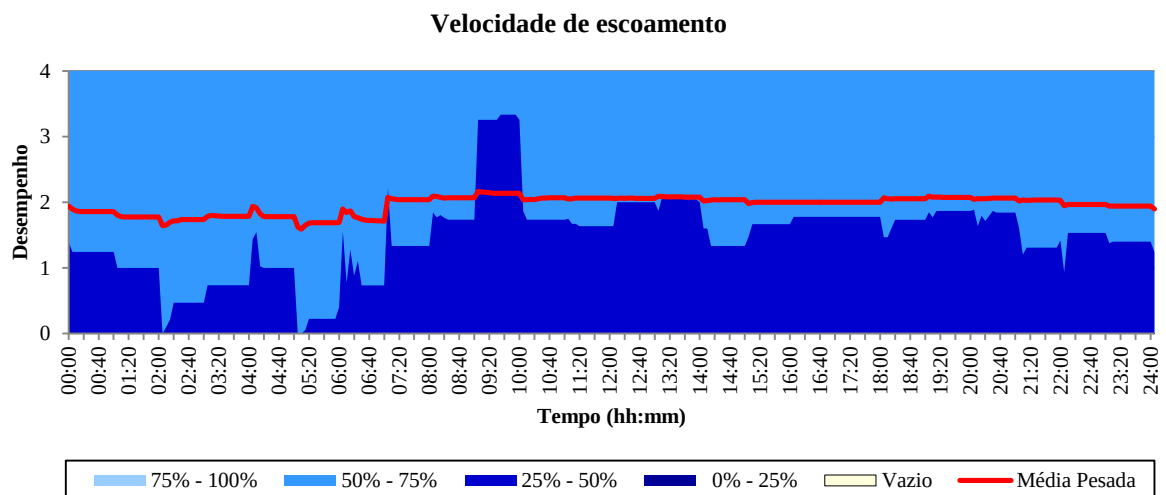


Figura A.56 – Evento de tempo seco com base no desempenho da velocidade de escoamento, para um fator de carga 16 e um nível de sedimentação de 60%

- **Representação em SIG**

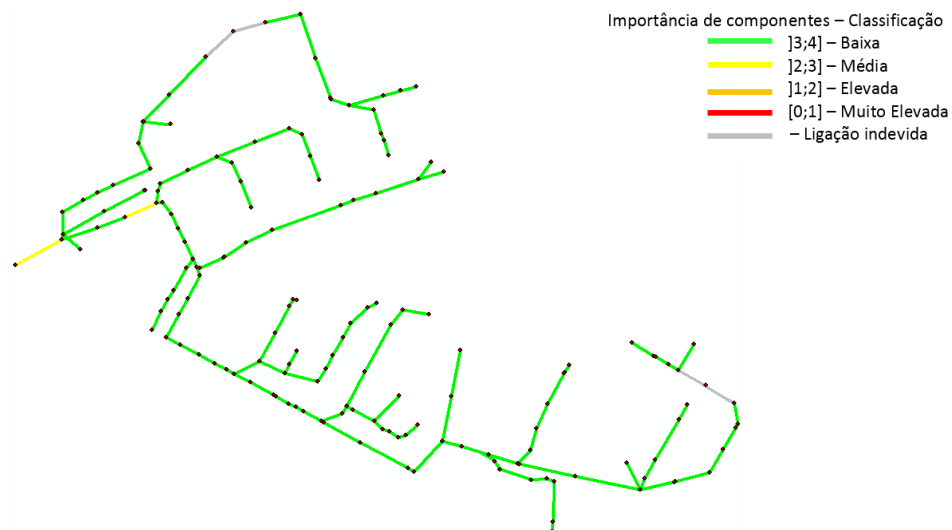


Figura A.57 – Importância de componentes com base na avaliação da altura de escoamento, para um cenário de $fc = 16$ e um nível de sedimentação de 60%



Figura A.58 – Importância de componentes com base na avaliação do extravasamento de câmaras de visita, para um cenário de $fc = 16$ e um nível de sedimentação de 60%



Figura A.59 – Importância de componentes com base na avaliação da velocidade mínima de escoamento, para um cenário de $fc = 16$ e um nível de sedimentação de 60%

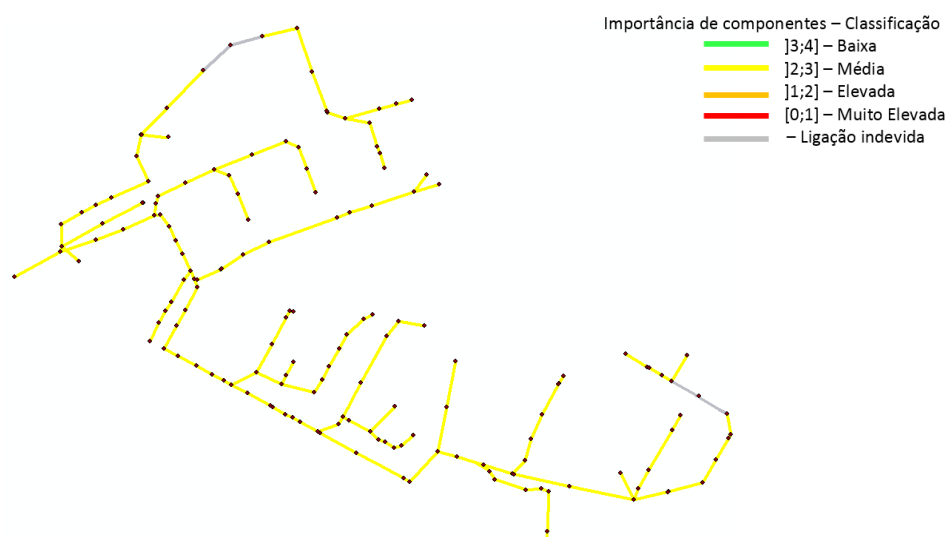


Figura A.60 – Importância de componentes com base na avaliação da velocidade máxima de escoamento, para um cenário de $fc = 16$ e um nível de sedimentação de 60%

APÊNDICE 3

Importância de componentes

APÊNDICE 3 – IMPORTÂNCIA DE COMPONENTES

Quadro A.2 – Importância de componentes para um $fc = 8$ e um nível de sedimentação de 60%

Coletor	Nível de sedimentação de 60%											
	Altura de escoamento						Extravasamento					
	Média pesada	P100	P75	P50	P25	P0	Média	P100	P75	P50	P25	P0
D1121987	3.936	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D1121988	3.936	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D1121989	3.935	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D1121990	3.934	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D1121991	3.934	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D1121992	3.934	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D1121993	3.932	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D1121994	3.927	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D1121997	3.935	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D1121998	3.934	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D863572	3.933	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D863652	3.934	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D863653	3.912	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D863656	3.936	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D863662	3.928	4.000	4.000	4.000	4.000	2.578	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D863664	3.931	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D863665	3.934	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D863675	3.936	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D863706	3.933	4.000	4.000	4.000	4.000	2.800	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D863709	3.868	4.000	4.000	4.000	4.000	0.076	3.974	4.000	4.000	4.000	4.000	0.000
D863714	3.924	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D863740	3.933	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D863741	3.934	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D863745	3.934	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D863747	3.930	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D863758	3.927	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D863761	3.860	4.000	4.000	4.000	4.000	0.741	3.974	4.000	4.000	4.000	4.000	0.000
D863762	3.931	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D863765	3.934	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D863774	3.933	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D863777	3.933	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D863787	3.936	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895060	3.933	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895066	3.933	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895068	3.933	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895070	3.922	4.000	4.000	4.000	4.000	2.230	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895072	3.917	4.000	4.000	4.000	4.000	1.704	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895074	3.913	4.000	4.000	4.000	4.000	1.676	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895076	3.835	4.000	4.000	4.000	4.000	0.243	3.974	4.000	4.000	4.000	4.000	0.000
D895078	3.817	4.000	4.000	4.000	4.000	0.243	3.974	4.000	4.000	4.000	4.000	0.000
D895080	3.814	4.000	4.000	4.000	4.000	0.885	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895082	3.922	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895084	3.886	4.000	4.000	4.000	4.000	0.617	3.974	4.000	4.000	4.000	4.000	0.000
D895086	3.851	4.000	4.000	4.000	4.000	0.302	3.974	4.000	4.000	4.000	4.000	0.000
D895088	3.910	4.000	4.000	4.000	4.000	2.560	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895090	3.890	4.000	4.000	4.000	4.000	0.217	3.974	4.000	4.000	4.000	4.000	0.000
D895092	3.897	4.000	4.000	4.000	4.000	2.000	3.974	4.000	4.000	4.000	4.000	0.000

Quadro A.2 (continuação) – Importância de componentes para um $fc = 8$ e um nível de sedimentação de 60%

Coletor	Nível de sedimentação de 60%											
	Altura de escoamento						Extravasamento					
	Média pesada	P100	P75	P50	P25	P0	Média	P100	P75	P50	P25	P0
D895094	3.918	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895096	3.826	4.000	4.000	4.000	4.000	0.106	3.974	4.000	4.000	4.000	4.000	0.000
D895098	3.875	4.000	4.000	4.000	4.000	0.537	3.974	4.000	4.000	4.000	4.000	0.000
D895100	3.872	4.000	4.000	4.000	4.000	0.207	3.974	4.000	4.000	4.000	4.000	0.000
D895102	3.906	4.000	4.000	4.000	4.000	0.210	3.974	4.000	4.000	4.000	4.000	0.000
D895104	3.926	4.000	4.000	4.000	4.000	1.514	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895106	3.921	4.000	4.000	4.000	4.000	0.062	3.974	4.000	4.000	4.000	4.000	0.000
D895108	3.920	4.000	4.000	4.000	4.000	0.546	3.974	4.000	4.000	4.000	4.000	0.000
D895110	3.857	4.000	4.000	4.000	4.000	0.276	3.974	4.000	4.000	4.000	4.000	0.000
D895113	3.868	4.000	4.000	4.000	4.000	0.085	3.974	4.000	4.000	4.000	4.000	0.000
D895115	3.856	4.000	4.000	4.000	4.000	0.099	3.974	4.000	4.000	4.000	4.000	0.000
D895117	3.836	4.000	4.000	4.000	4.000	0.000	3.947	4.000	4.000	4.000	4.000	0.000
D895119	3.876	4.000	4.000	4.000	4.000	1.172	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895121	3.879	4.000	4.000	4.000	4.000	1.526	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895123	3.837	4.000	4.000	4.000	4.000	1.195	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895125	3.879	4.000	4.000	4.000	4.000	1.744	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895127	3.878	4.000	4.000	4.000	4.000	1.835	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895129	3.826	4.000	4.000	4.000	4.000	1.506	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895131	3.900	4.000	4.000	4.000	4.000	1.973	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895133	3.907	4.000	4.000	4.000	4.000	2.772	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895135	3.894	4.000	4.000	4.000	4.000	2.148	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895137	3.925	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895139	3.802	4.000	4.000	4.000	4.000	1.105	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895141	3.813	4.000	4.000	4.000	4.000	1.383	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895143	3.733	4.000	4.000	4.000	3.921	0.844	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895145	3.438	4.000	4.000	4.000	3.508	0.046	3.974	4.000	4.000	4.000	4.000	0.000
D895352	3.934	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895865	3.936	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895867	3.936	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895869	3.936	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895871	3.936	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895873	3.936	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895875	3.936	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895877	3.936	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D895879	3.936	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896383	3.935	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896385	3.934	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896387	3.931	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896397	3.934	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896401	3.932	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896403	3.931	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896405	3.928	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896407	3.931	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896492	3.933	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896494	3.932	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896496	3.934	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896499	3.936	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896501	3.935	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896503	3.935	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896626	3.936	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000

Quadro A.2 (continuação) – Importância de componentes para um $fc = 8$ e um nível de sedimentação de 60%

Coletor	Nível de sedimentação de 60%											
	Altura de escoamento						Extravasamento					
	Média pesada	P100	P75	P50	P25	P0	Média	P100	P75	P50	P25	P0
D896628	3.928	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896647	3.932	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896649	3.935	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896651	3.934	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896653	3.934	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896754	3.935	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896756	3.935	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896758	3.935	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896760	3.934	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D896764	3.934	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897377	3.934	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897379	3.928	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897381	3.922	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897383	3.923	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897747	3.935	4.000	4.000	4.000	4.000	2.872	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897749	3.933	4.000	4.000	4.000	4.000	2.456	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897751	3.934	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897753	3.932	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897755	3.927	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897757	3.920	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897759	3.924	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897761	3.929	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897764	3.934	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897767	3.935	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897769	3.934	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897771	3.933	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897773	3.933	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897775	3.929	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897777	3.929	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897779	3.925	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897781	3.925	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897787	3.928	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897789	3.919	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897791	3.915	4.000	4.000	4.000	4.000	2.786	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897793	3.906	4.000	4.000	4.000	4.000	1.453	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897795	3.895	4.000	4.000	4.000	4.000	1.612	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897797	3.923	4.000	4.000	4.000	4.000	2.892	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897799	3.925	4.000	4.000	4.000	4.000	2.586	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897801	3.926	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897804	3.934	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897958	3.936	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897960	3.936	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D897998	3.936	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D898000	3.932	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D898002	3.932	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D904739	3.936	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D906803	3.931	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D909354	3.931	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D909366	3.923	4.000	4.000	4.000	4.000	2.856	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D909405	3.935	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
D909408	3.933	4.000	4.000	4.000	4.000	2.900	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000

Quadro A.2 (continuação) – Importância de componentes para um $fc = 8$ e um nível de sedimentação de 60%

Coletor	Nível de sedimentação de 60%											
	Velocidade mínima						Velocidade máxima					
	Média pesada	P100	P75	P50	P25	P0	Média pesada	P100	P75	P50	P25	P0
D1121987	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D1121988	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D1121989	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D1121990	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D1121991	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D1121992	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D1121993	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.019	4.000	4.000	1.815	0.000	0.000
D1121994	1.455	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.012	4.000	4.000	1.815	0.000	0.000
D1121997	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D1121998	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D863572	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D863652	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D863653	1.427	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.024	4.000	4.000	2.083	0.000	0.000
D863656	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D863662	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.044	4.000	4.000	2.312	0.000	0.000
D863664	1.452	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.034	4.000	4.000	2.220	0.000	0.000
D863665	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D863675	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D863706	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.029	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D863709	1.440	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.010	4.000	4.000	2.016	0.000	0.000
D863714	1.456	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.038	4.000	4.000	2.177	0.000	0.000
D863740	1.452	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.047	4.000	4.000	2.298	0.000	0.000
D863741	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.037	4.000	4.000	2.244	0.000	0.000
D863745	1.446	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.218	0.000	0.000
D863747	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D863758	1.426	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.017	4.000	4.000	1.942	0.000	0.000
D863761	1.437	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.024	4.000	4.000	2.069	0.000	0.000
D863762	1.445	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.039	4.000	4.000	2.260	0.000	0.000
D863765	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D863774	1.445	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.025	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D863777	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D863787	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.032	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895060	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895066	1.441	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895068	1.439	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.010	4.000	4.000	1.949	0.000	0.000
D895070	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.039	4.000	4.000	2.133	0.000	0.000
D895072	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.040	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895074	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.050	4.000	4.000	2.478	0.000	0.000
D895076	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.053	4.000	4.000	2.447	0.000	0.000
D895078	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.006	4.000	4.000	1.905	0.000	0.000
D895080	1.429	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	1.965	4.000	4.000	1.511	0.000	0.000
D895082	1.417	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.033	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895084	1.430	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895086	1.430	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.035	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895088	1.406	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895090	1.441	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.036	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895092	1.394	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.036	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895094	1.406	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895096	1.443	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.022	4.000	4.000	2.034	0.000	0.000
D895098	1.429	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.020	4.000	4.000	2.034	0.000	0.000

Quadro A.2 (continuação) – Importância de componentes para um $fc = 8$ e um nível de sedimentação de 60%

Coletor	Nível de sedimentação de 60%											
	Velocidade mínima						Velocidade máxima					
	Média pesada	P100	P75	P50	P25	P0	Média pesada	P100	P75	P50	P25	P0
D895100	1.440	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.027	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895102	1.441	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.034	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895104	1.433	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895106	1.442	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.038	4.000	4.000	2.221	0.000	0.000
D895108	1.423	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.037	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895110	1.429	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.015	4.000	4.000	1.917	0.000	0.000
D895113	1.435	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.005	4.000	4.000	2.008	0.000	0.000
D895115	1.432	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.001	4.000	4.000	2.137	0.000	0.000
D895117	1.428	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.007	4.000	4.000	2.008	0.000	0.000
D895119	1.427	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895121	1.409	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	1.971	4.000	4.000	1.560	0.000	0.000
D895123	1.392	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	1.930	4.000	4.000	1.289	0.000	0.000
D895125	1.403	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	1.871	4.000	4.000	0.882	0.000	0.000
D895127	1.413	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	1.923	4.000	4.000	1.474	0.000	0.000
D895129	1.412	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	1.858	4.000	4.000	1.200	0.000	0.000
D895131	1.401	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.016	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895133	1.410	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895135	1.409	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.020	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895137	1.412	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.017	4.000	4.000	2.024	0.000	0.000
D895139	1.433	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.009	4.000	4.000	2.000	0.000	0.000
D895141	1.361	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.002	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895143	1.375	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	1.991	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895145	1.332	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	1.860	4.000	4.000	1.247	0.000	0.000
D895352	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895865	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895867	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895869	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895871	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895873	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895875	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895877	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D895879	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D896383	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D896385	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D896387	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.041	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D896397	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D896401	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D896403	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D896405	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D896407	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.028	4.000	4.000	2.086	0.000	0.000
D896492	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.020	4.000	4.000	1.904	0.000	0.000
D896494	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.017	4.000	4.000	1.904	0.000	0.000
D896496	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.036	4.000	4.000	2.300	0.000	0.000
D896499	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D896501	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D896503	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D896626	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D896628	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.029	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D896647	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.013	4.000	4.000	2.036	0.000	0.000
D896649	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.016	4.000	4.000	2.232	0.000	0.000

Quadro A.2 (continuação) – Importância de componentes para um $fc = 8$ e um nível de sedimentação de 60%

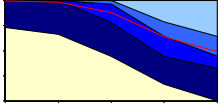
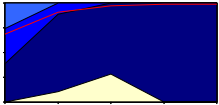
Coletor	Nível de sedimentação de 60%											
	Velocidade mínima						Velocidade máxima					
	Média pesada	P100	P75	P50	P25	P0	Média pesada	P100	P75	P50	P25	P0
D896651	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.027	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D896653	1.446	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.028	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D896754	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D896756	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D896758	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D896760	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.029	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D896764	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D897377	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D897379	1.438	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.021	4.000	4.000	2.072	0.000	0.000
D897381	1.413	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	1.996	4.000	4.000	1.800	0.000	0.000
D897383	1.421	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.010	4.000	4.000	1.889	0.000	0.000
D897747	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.017	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D897749	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D897751	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.028	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D897753	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.036	4.000	4.000	2.442	0.000	0.000
D897755	1.455	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.018	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D897757	1.443	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	1.991	4.000	4.000	1.731	0.000	0.000
D897759	1.416	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	1.999	4.000	4.000	1.833	0.000	0.000
D897761	1.417	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.002	4.000	4.000	1.847	0.000	0.000
D897764	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D897767	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D897769	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D897771	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.030	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D897773	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.030	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D897775	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.024	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D897777	1.442	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.013	4.000	4.000	1.969	0.000	0.000
D897779	1.436	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	1.987	4.000	4.000	1.699	0.000	0.000
D897781	1.423	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	1.985	4.000	4.000	1.680	0.000	0.000
D897787	1.444	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D897789	1.442	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	1.985	4.000	4.000	1.604	0.000	0.000
D897791	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.009	4.000	4.000	1.771	0.000	0.000
D897793	1.441	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	1.987	4.000	4.000	1.577	0.000	0.000
D897795	1.433	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	1.972	4.000	4.000	1.627	0.000	0.000
D897797	1.418	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	1.990	4.000	4.000	1.737	0.000	0.000
D897799	1.431	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.014	4.000	4.000	1.995	0.000	0.000
D897801	1.433	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.016	4.000	4.000	2.005	0.000	0.000
D897804	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D897958	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D897960	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D897998	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D898000	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D898002	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D904739	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D906803	1.447	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.035	4.000	4.000	2.133	0.000	0.000
D909354	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D909366	1.422	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.011	4.000	4.000	1.925	0.000	0.000
D909405	1.448	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000
D909408	1.445	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000	2.031	4.000	4.000	2.175	0.000	0.000

ANEXO 1

Interpretação de gráficos de sistema

ANEXO 1 - INTERPRETAÇÃO DE GRÁFICOS DE SISTEMA

Quadro A.3 – Interpretação de gráficos de sistema para os índices de desempenho hidráulico (adaptado, Cardoso, 2008)

Indicador/ Variável	Forma/valor/banda	Interpretação
Curvas		
IDH₁ <i>Exemplo de gráfico de sistema</i> 	Patamar constante seguido de descida.	Sistema com comportamento normal.
	Curva monotonamente decrescente.	Sistema com pouca capacidade.
	Curva decrescente superior a 2.	Sistema sem entrada em carga (para SD) ou sem descarga (para SU e SP).
	Curva decrescente inferior a 2.	Sistema com entrada em carga (para SD) ou com descarga (para SU e SP).
	Curva atingindo zero.	Inundações no sistema.
IDH₂ <i>Exemplo de gráfico de sistema</i> 	Curva monotonamente crescente.	Sistema com desempenho adequado.
	Curva crescente com um patamar intermédio e, eventualmente, ramo final decrescente.	Sistema com comportamento normal.
	Curva monotonamente decrescente.	Sistema com velocidades acima da máxima.
	Curva atingindo zero.	Sistema com velocidades inaceitáveis por serem demasiado baixas ou demasiado elevadas.
IDH_{extrav.}	Curva igual a 4	Sistema com comportamento normal.
	Curva atingindo zero.	Inundação do sistema e extravasamento em câmaras de visita.
Curva média		
	Curva média << percentil 50%	Distribuição assimétrica e valores de desempenho baixos devido a problemas localizados afetando um número pequeno de coletores importantes.
	Curva média >> percentil 50%	Distribuição assimétrica com coletores importantes desempenhando bem e valores baixos devidos a problemas generalizados.
Bandas		
	Banda total larga	Desempenho heterogéneo no sistema.
	Bandas intermédias >> outras bandas	Sistema com duas áreas de características diferentes.
	Banda do percentil 25% >> outras bandas	A resolução de problemas localizados melhoraria significativamente o desempenho global do sistema.