

Sistema inteligente para apoio ao uso eficiente de recursos e à gestão de emergências de inundação e de contaminação balnear em cidades costeiras

Relatório de Análise de Requisitos

Abril de 2020

SINERGEA – Sistema inteligente para apoio ao uso eficiente de recursos e à gestão de emergências de inundação e de contaminação balnear em cidades costeiras

Relatório de Análise de Requisitos

SINERGEA – Sistema inteligente para apoio ao uso eficiente de recursos e à gestão de emergências de inundação e de contaminação balnear em cidades costeiras

Relatório de Análise de Requisitos

Índice

Introdução.....	6
Apresentação e objetivos.....	6
Organização do relatório.....	6
Metodologia de análise de requisitos técnicos e funcionais do sistema inteligente de apoio à decisão	7
Engenharia de Requisitos.....	7
Verificação e Validação dos Requisitos	7
Conceção do sistema inteligente de interface.....	9
Objetivos e componentes do sistema.....	9
Sistema integrado de modelação.....	10
Modelação meteorológica	10
Modelação e previsão da inundação urbana.....	11
Modelo de bacia hidrográfica	11
Modelo do sistema de drenagem para os estudos de inundação	13
Modelação e previsão do impacte das descargas na qualidade das águas balneares	15
Modelação das descargas do sistema de drenagem para o meio recetor	15
Modelação da qualidade da água no sistema de drenagem	18
Modelação da hidrodinâmica e qualidade da água no meio recetor	20
Modelação do consumo de energia em sistemas de drenagem urbana.....	23
Sistemas de previsão em tempo real.....	25
Abordagem geral.....	25
Descrição dos requisitos.....	26
Desenvolvimento do sistema de previsão para o projeto SINERGEA	27
Sistema inteligente para operação otimizada XHQ-SINERGEA.....	28
O sistema XHQ.....	28
Plataforma XHQ: XHQ Solution Server	32

Plataforma XHQ: XHQ Development Client	33
Plataforma XHQ: XHQ Solution Viewer	34
Sistemas de avaliação de desempenho	35
Sistema de avaliação integrado energia - inundações urbanas - zonas balneares	36
Sistema de apoio à decisão em tempo real	37
Requisitos do caso de estudo.....	40
Plataforma de monitorização.....	40
Base de dados de cenários e de alternativas de intervenção.....	44
Sistema de modelação integrada para Albufeira e zona costeira adjacente.....	45
Caracterização geral do sistema de drenagem	45
Modelo de drenagem 1D	47
Modelo de drenagem 2D	49
Modelo de qualidade da água do sistema de drenagem.....	49
Modelo do meio recetor	51
Modelo de energia	53
Sistema de previsão em tempo real.....	55
Customização do Sistema inteligente para operação otimizada XHQ-SINERGEA para Albufeira e zona costeira.....	58
Catálogo de Requisitos do Sistema	60
Requisitos da Plataforma de Monitorização.....	60
Requisitos do Sistema Integrado de Modelos.....	60
Requisitos do Sistema de Previsão em Tempo-real.....	60
Requisitos da interface XHQ-Sinergea	61
Lista de autores e instituições.....	62
Referências.....	63

SINERGEA – Sistema inteligente para apoio ao uso eficiente de recursos e à gestão de emergências de inundação e de contaminação balnear em cidades costeiras

Relatório de Análise de Requisitos

Lista de Figuras

Figura 1 - Representação esquemática dos módulos que constituem o modelo MOHID Land .	12
Figura 2 - Representação esquemática de uma zona urbana e de uma bacia hidrográfica, A zona urbana é uma zona impermeabilizada que por isso promove mais escoamento superficial, mas por outro lado é uma zona que inclui um sistema de drenagem subterrâneo que reduz o escoamento superficial	13
Figura 3 – Esquema do modelo de coletores	15
Figura 4 - Representação esquemática da modelação do escoamento superficial no SWMM (adaptado de Rossman, 2015)	16
Figura 5 - Representação esquemática de um LID para bioretenção (adaptado de Rossman, 2015)	17
Figura 6 - Variáveis de entrada e de saída entre modelos para modelação e previsão dos caudais descarregados no meio recetor	17
Figura 7 - Variáveis de entrada e de saída entre modelos para modelação e previsão da qualidade das descargas descarregadas no meio recetor	19
Figura 8 - Forçamentos do modelo do meio recetor	23

SINERGEA – Sistema inteligente para apoio ao uso eficiente de recursos e à gestão de emergências de inundação e de contaminação balnear em cidades costeiras

Relatório de Análise de Requisitos

Lista de Tabelas

Tabela 1. Requisitos de forçamentos para a definição das condições de fronteira do modelo da qualidade da água do MOHID+SWMM.....	20
Tabela 2. Requisitos de forçamentos para a definição das condições de fronteira do modelo da qualidade da água do SWMM (inclui sistema interceptor)	20
Tabela 3. Requisitos de forçamentos para a definição das condições de fronteira do modelo da qualidade da água da ETAR.....	20
Tabela 4. Requisitos de forçamentos para a definição das condições de fronteira do modelo do meio recetor.....	23
Tabela 5. Requisitos de forçamentos para a definição das condições de fronteira do modelo do consumo de energia.....	25
Tabela 6. Fontes de dados.....	40
Tabela 7. Fontes de previsões de modelos em tempo real	43
Tabela 8. Parâmetros ambientais a integrar na base de dados de cenários	44
Tabela 9. Alternativas de gestão a integrar na base de dados de cenários.....	45
Tabela 10. Tabela resumo dos dados de inputs e de calibração do modelo de drenagem.....	47
Tabela 11. Tabela resumo dos produtos do modelo de drenagem	49
Tabela 12. Tabela resumo dos dados de inputs e de calibração do modelo de qualidade da água do sistema de drenagem.....	50
Tabela 13. Tabela resumo dos produtos do modelo de qualidade da água do sistema de drenagem	51
Tabela 14. Resumo dos dados de input e de calibração do modelo do meio recetor.....	52
Tabela 15. Tabela resumo dos produtos do modelo do meio recetor	53
Tabela 16. Resumo dos dados de input e de calibração do modelo de energia.....	54
Tabela 17. Tabela resumo dos produtos do modelo de energia	55
Tabela 18. Tabela resumo dos dados de inputs do WIFF relativos aos modelos das redes de drenagem	56
Tabela 19. Tabela resumo dos dados de inputs do WIFF relativos ao modelo de energia.....	57
Tabela 20. Tabela resumo dos dados de inputs do WIFF relativos ao modelo do meio recetor.....	57

SINERGEA – Sistema inteligente para apoio ao uso eficiente de recursos e à gestão de emergências de inundação e de contaminação balnear em cidades costeiras

Relatório de Análise de Requisitos

Introdução

Apresentação e objetivos

O projeto de I&D SINERGEA visa criar uma plataforma inteligente e inovadora de suporte à gestão integrada e otimizada da energia, da qualidade da água balnear e da inundação em cidades costeiras. Enquadrada no paradigma “cidades inteligentes”, esta plataforma permitirá, em simultâneo: 1) contribuir para a eficiência energética das cidades, através de estratégias integradas de minimização do consumo de energia das infraestruturas de drenagem; 2) proteger a utilização das zonas balneares urbanas por prevenção da contaminação por descargas urbanas; e 3) contribuir para a gestão integrada e a resposta à emergência de risco de inundação nas cidades. Tem como caso de estudo demonstrador a cidade de Albufeira e a sua envolvente costeira.

A plataforma XHQ SINERGEA, de natureza genérica e adaptável aos desafios de diferentes entidades gestoras das cidades e meios adjacentes, baseada em tecnologias de informação inovadoras, proporá ações de gestão otimizadas em tempo real, agregando: sistemas de previsão e monitorização, cobrindo o ciclo da água (atmosfera, bacia hidrográfica, cidade e zona costeira) e da energia; cenários de condições ambientais atuais e em contexto de alterações climáticas; e alternativas de operação das infraestruturas.

Este relatório apresenta a análise de requisitos do sistema, nas suas várias vertentes: sistema de modelação integrada da dinâmica atmosférica, do funcionamento da rede de drenagem, do consumo de energia, das inundações urbanas e da qualidade da água costeira, e plataforma de monitorização, previsão em tempo real e proposta de operação otimizada, para apoio à decisão no uso eficiente de energia, e na gestão de inundações e das águas balneares.

A presente análise de requisitos servirá de base à implementação da plataforma de monitorização, previsão em tempo real e proposta de operação otimizada, para apoio à decisão no uso eficiente de energia, e na gestão de inundações e das águas balneares, e à sua aplicação ao caso de estudo: a cidade de Albufeira e a sua envolvente costeira.

Organização do relatório

O relatório encontra-se dividido em 5 capítulos para além desta Introdução. No segundo capítulo é apresentada a metodologia seguida na análise de requisitos técnicos e funcionais do sistema de monitorização, previsão em tempo real e proposta de operação otimizada. Apresenta-se no último capítulo a análise de requisitos da plataforma inteligente, com o detalhe necessário ao nível dos requisitos a cumprir.

Metodologia de análise de requisitos técnicos e funcionais do sistema inteligente de apoio à decisão

Engenharia de Requisitos

O relatório utiliza uma linguagem de modelação atualmente aceite como padrão na definição de requisitos de sistemas computacionais – a *Unified Model Language* (UML). A UML define uma metodologia baseada na construção de modelos para especificar os requisitos técnicos de um sistema em diferentes níveis de abstração. Os modelos são diagramas UML acompanhados de descrições textuais.

Na fase de análise de requisitos da aplicação os objetivos são descritos em UML, e é desenvolvido o modelo de requisitos funcionais do sistema através da apresentação de casos de uso que evidenciem os conceitos e definições que o sistema deve suportar e executar. Os requisitos são categorizados em três tipos: requisitos funcionais, requisitos não-funcionais e requisitos organizacionais.

Os requisitos funcionais descrevem os serviços que o sistema deve oferecer, como o sistema deve reagir a certas entradas e como se deve comportar em determinadas situações. Os requisitos não-funcionais podem ser classificados segundo diferentes categorias: (i) de produto, que definem como o produto se deve comportar; (ii) de processo, que representam consequências das políticas e normas estabelecidas pela organização ou pela equipa de desenvolvimento; e (iii) externos, associados a fatores que são externos ao sistema e ao seu processo de desenvolvimento.

Os requisitos organizacionais dizem respeito aos objetivos da empresa, às suas políticas estratégicas e ao relacionamento entre os seus atores com os seus objetivos. A diferença entre requisitos funcionais e não-funcionais está no facto dos primeiros descreverem o que o sistema deve fazer, enquanto os últimos fixam restrições sobre como os requisitos funcionais serão implementados.

Na segunda fase do levantamento de requisitos do sistema é efetuado um levantamento dos requisitos técnicos, nomeadamente definir as premissas e restrições quanto à arquitetura tecnológica, aos padrões, à comunicação, às ferramentas e às linguagens a utilizar no desenvolvimento do sistema.

Verificação e Validação dos Requisitos

Em engenharia de requisitos, existem dois procedimentos genéricos, aplicáveis a todos os objetos resultantes do desenvolvimento de um projeto, para verificação e validação dos requisitos:

- **Inspeções** - método formal muito rigoroso de revisão de processos;
- **Revisões** - versão simplificada das inspeções, mas mantendo o carácter formal.

A inspeção é uma técnica de revisão manual de processos, feita por uma equipa composta por um moderador e revisores. É uma técnica formal pois consiste num conjunto preciso de passos

que têm de ser cuidadosamente aplicados. As inspeções avaliam processos e não são um método de avaliação de desempenho porque necessitam da colaboração da equipa responsável pela implementação desses processos e quem se sente avaliado não participa com abertura e empenho na deteção de deficiências.

O moderador planeia a inspeção, alocando as pessoas envolvidas (revisores) e os recursos que serão necessários. De seguida é explicada uma visão geral do processo e cada membro da equipa de inspeção estuda o processo e deteta as deficiências. Estas deficiências serão mostradas e registadas pelo moderador. Posteriormente, os problemas identificados serão corrigidos e uma nova reunião da equipa de inspeção decidirá (pela voz do moderador) se é necessário ou não outra inspeção.

As revisões são uma versão simplificada das inspeções, a aplicar a processos menos críticos do que aqueles onde as inspeções são efetuadas. Trata-se também de uma técnica de análise manual de processos baseando-se antes na revisão solitária feita pelos revisores (correspondente à fase de preparação das inspeções).

Estes métodos aplicam-se em qualquer momento por decisão dos envolvidos, mas são obrigatórios em determinados momentos, nomeadamente aquando da aceitação formal e final de um documento, que no presente estudo será a versão final da aplicação de suporte a relatórios internos periódicos da qualidade dos recursos hídricos. No presente documento de análise de requisitos são definidos os procedimentos que devem ser aplicados para a aceitação formal e para a aceitação final de cada requisito em concreto.

Conceção do sistema inteligente de interface

Objetivos e componentes do sistema

O projeto de I&D SINERGEA visa a criação de uma plataforma inteligente para gestão eficiente da energia e apoio à gestão de emergências de inundação e de qualidade balnear em cidades costeiras, através de uma visão integrada da bacia de drenagem, do espaço urbano e das zonas costeiras adjacentes. Pretende-se desenvolver uma plataforma tecnológica que contribua para minimizar os riscos de inundação urbana de múltiplas origens (bacias a montante, rede de drenagem local e zona costeira) e de contaminação de águas balneares, otimizando simultaneamente o consumo de energia associado à rede de drenagem urbana. Este sistema estará operacional nas entidades gestoras do espaço urbano e costeiro e disponibilizará propostas de operação das infraestruturas em tempo real, permitindo otimizar o desempenho nas vertentes energia, inundação e proteção do ambiente costeiro, tendo em conta as condições ambientais atuais e em cenários de alterações climáticas.

O desenvolvimento deste produto materializa-se através dos seguintes objetivos parcelares:

- a) O1 – Definição da metodologia e conceptualização do sistema inteligente para apoio à decisão na gestão em condições normais e de emergência de infraestruturas de drenagem em ambientes urbanos costeiros.
- b) O2 – Desenvolvimento de um sistema de modelação integrada de previsão atmosférica e da dinâmica do funcionamento da rede de drenagem, do consumo de energia, das inundações urbanas e da qualidade da água costeira.
- c) O3 – Desenvolvimento da plataforma inteligente XHQ-SINERGEA de monitorização, previsão em tempo real e proposta de operação otimizada, para apoio à decisão no uso eficiente de energia, e na gestão de inundações e das águas balneares.
- d) O4 – Demonstração da funcionalidade do sistema inteligente desenvolvido no caso real e paradigmático de Albufeira e as zonas adjacentes.

O desenvolvimento e aplicação do sistema de interface requer assim a análise de requisitos funcionais e técnicos para cada uma das suas componentes, tendo em conta as necessidades de informação externa e as interdependências entre componentes:

1. Sistema de modelação integrada
2. Plataforma de monitorização
3. Sistema inteligente para operação otimizada

A conceção de cada uma destas componentes é detalhada nas subsecções seguintes e na secção seguinte, incluindo os requisitos a obedecer para cada uma delas, de modo a obter-se um sistema de interface que dê cumprimento aos objetivos do projeto.

Sistema integrado de modelação

O sistema integrado de modelação deverá simular todos os processos relevantes desde a origem até ao meio recetor, para as várias grandezas a simular e com base em modelos para cada um dos componentes (descritos em detalhe nas subsecções seguintes). Este sistema será parte integrante da componente de previsão em tempo-real, que além da integração dos vários modelos descritos abaixo, controlará a sequência de execução dos modelos numa cadeia de eventos.

Cada modelo necessitará de um conjunto de dados fornecidos pela plataforma de monitorização e de resultados da execução dos modelos simulados previamente. A integração permite a produção de resultados que seriam impossíveis de obter operando os modelos individualmente, ou parte da cadeia. Os resultados serão posteriormente utilizados pelo Sistema de previsão em tempo-real e pelo Sistema inteligente para operação otimizada XHQ-SINERGEA.

O sistema de modelação será ainda usado para a análise de cenários, a qual permite simular um conjunto alargado de condições que incluam a variação dos parâmetros ambientais, assim como as várias opções de operação nas várias infraestruturas envolvidas. Esta tarefa será detalhada para o caso de estudo.

Deste modo, a integração entre os vários instrumentos de modelação deverá ser feita da forma mais eficaz, quer numa perspectiva da melhor representação de processos nas várias camadas da cascata de modelos quer numa perspectiva computacional. Por um lado, a disponibilidade atempada de previsões é um requisito base de qualquer sistema de previsão. Por outro lado, os recursos computacionais poderão ser limitativos da quantidade de cenários a simular, pelo que se deve otimizar toda a cadeia de simulação.

Modelação meteorológica

A modelação meteorológica utiliza o modelo WRF¹ aplicado aqui com uma malha de 1 km de passo espacial para a região do Algarve. Este modelo é forçado utilizando um processo de refinamento (vulgarmente designado por *downscaling*) que parte do modelo global GFS da NOAA² com resolução de 0.25° e chega a 1 km passando sucessivamente por 9 km e 3 km de resolução. O modelo WRF tem uma comunidade de cerca de 48000 utilizadores em 160 países. Em modo de *hindcast* (simulação de eventos passados) o modelo é forçado pela reanálise ERA5³ do Centro Europeu ECMWF e usa o mesmo sistema de refinamento da malha.

A circulação atmosférica e a precipitação são processos que dependem das trocas de energia mecânica (atrito) e térmica entre o ar em movimento, a superfície terrestre e a superfície do oceano através de processos complexos de microescala cuja simulação está sujeita a erros. A minimização desses erros é feita através da assimilação de dados das estações meteorológicas e de satélite nos modelos globais, à medida que os dados vão ficando disponíveis na rede meteorológica mundial. Por essa razão os modelos são corridos de 6 em 6 horas, produzindo previsões quatro vezes ao dia. É este tipo de informação que o modelo GFS disponibiliza para todo o mundo e que será utilizada no modelo para fazer previsões.

¹ <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>

² <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>

³ <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>

Para simular eventos passados serão utilizados resultados de reanálise. Estes resultados utilizam mais dados de campo do que o modelo operacional e por isso a sua solução tem melhor resolução espacial. A resolução temporal com que os dados são fornecidos é menor pela impossibilidade de guardar períodos longos com alta frequência (limitações de espaço de disco e dificuldade de transferência na internet). De qualquer dos modos, os resultados do modelo de *hindcast* são normalmente melhores do que os obtidos por interpolação dos dados registados pelas estações meteorológicas, devido ao seu espaçamento. Por esta razão, os dados de campo serão utilizados para validar os resultados do modelo meteorológico (em *hindcast* e em *forecast*) e não para forçar diretamente o modelo de bacia hidrográfica.

Modelação e previsão da inundação urbana

As inundações urbanas ocorrem quando o sistema de drenagem é insuficiente para escoar a água da chuva não infiltrada na bacia de drenagem. A sua previsão requer, por conseguinte, três componentes:

- 1) Modelo de previsão meteorológica,
- 2) Modelo da bacia de drenagem,
- 3) Modelo do sistema de drenagem.

A validação do modelo de cheias com base em dados pretéritos pode dispensar o modelo meteorológico se a rede de estações pluviométricas for suficientemente fina para caracterizar a chuva em toda a bacia hidrográfica que drena para o sistema de coletores. Em modo de previsão o modelo meteorológico é essencial.

Modelo de bacia hidrográfica

O escoamento na bacia hidrográfica será simulado utilizando o modelo MOHID Land (www.mohid.com). É um modelo integrado que inclui módulos para o escoamento na superfície do solo (runoff superficial), na rede de drenagem fluvial (RiverNetwork) e no solo (porous media), como representado na Figura 1. O solo inclui a zona saturada e a zona não-saturada.

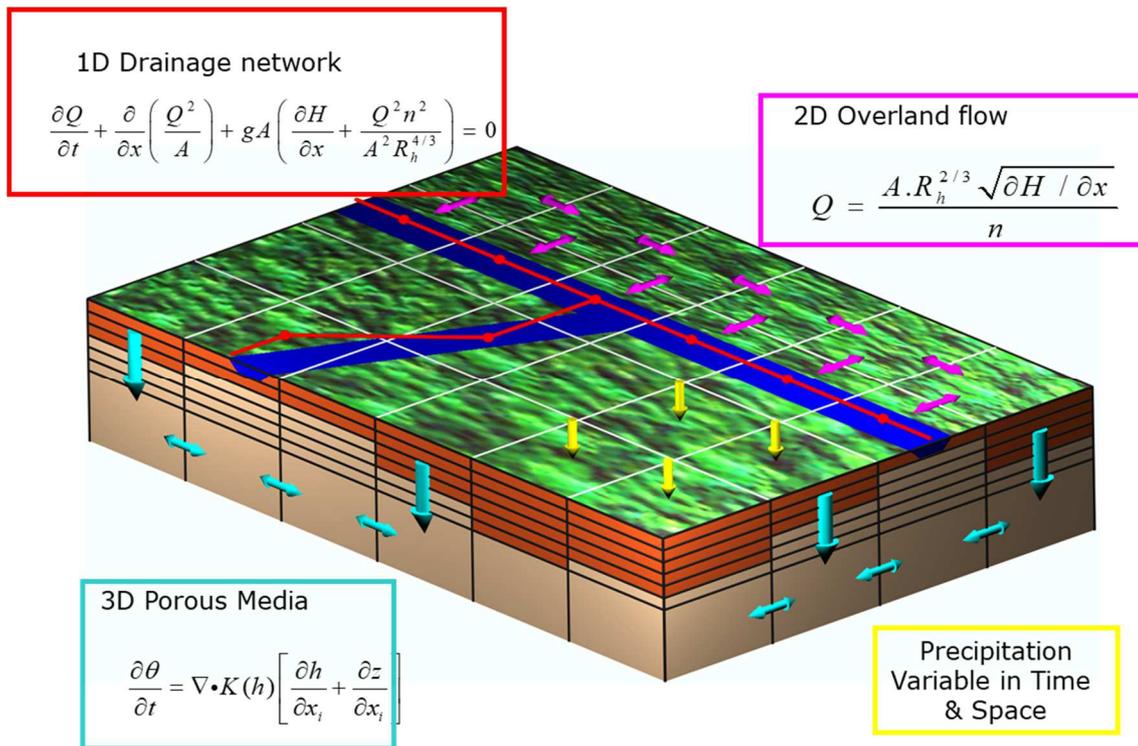


Figura 1 - Representação esquemática dos módulos que constituem o modelo MOHID Land

As setas amarelas representam a chuva e as setas roxas representam o escoamento superficial da água que ainda não se infiltrou e que se poderá escoar até à rede de drenagem (rios). A água que se infiltra poderá ser armazenada na zona porosa, escoar-se até à zona saturada, ou ser transpirada pela vegetação em função do seu estado de desenvolvimento e das condições meteorológicas. O modelo calcula as trocas de água entre os vários compartimentos, incluindo a exfiltração (o contrário de infiltração) de água subterrânea quando o solo está saturado. É esta exfiltração que mantém os rios durante os períodos secos. A quantidade de água exfiltrada para os rios depende da diferença de níveis entre os rios e a toalha freática no solo e o nível no rio depende do declive (que é conhecido) e da largura do rio, que normalmente só é conhecida de forma estatística, por falta de resolução do modelo digital de terreno.

O modelo MOHID Land recebe do modelo meteorológico a distribuição espacial e temporal de:

- Chuva,
- Temperatura,
- Vento,
- Radiação solar,
- Humidade do ar.

A chuva é a fonte de água (que pode ser complementada por rega em zonas de regadio). A velocidade do vento, temperatura e humidade do ar são utilizados para calcular a evapotranspiração (combinadas com o coberto vegetal) e a radiação solar é usada também pelo módulo de vegetação para simular o seu crescimento (e necessidade de água).

Os processos no solo dependem das suas propriedades (condutividade hidráulica e curva de retenção de água – curva de pF), do declive e do coberto vegetal. O modelo digital de terreno

utilizado é o SRTM_30⁴ com resolução espacial de 30 metros. O coberto vegetal é fornecido pelo programa Copernicus⁵ e os solos são obtidos através da carta de solos da Europa⁶ ou utilizando dados nacionais mais detalhados quando disponíveis.

Com este conjunto de dados e com os resultados do modelo meteorológico é possível correr o modelo MOHID Land impondo na fronteira com o mar um nível médio ou o nível instantâneo proveniente de um modelo de maré que pode incluir a sobre-elevação de tempestade.

Em zonas urbanas o modelo MOHID Land pode ser acoplado ao modelo de drenagem SWMM descrito no parágrafo seguinte. Esse acoplamento permite a simulação de zonas urbanas como representado esquematicamente na Figura 2. Nas zonas urbanas a impermeabilização dificulta a infiltração e promove o escoamento superficial e, por conseguinte, a formação de cheias e a inundação de zonas baixas. O sistema de drenagem urbana remove água superficial. Enquanto o sistema tiver capacidade para remover a água não infiltrada, não ocorre cheia, nem inundação das zonas baixas.

A capacidade de prever a quantidade de água exfiltrada pelo sistema de drenagem urbana e o seu escoamento à superfície é fundamental para simular a evolução da inundação de zonas baixas por água drenada de zonas altas. O modelo MOHID Land acoplado ao modelo SWMM simula esse processo.

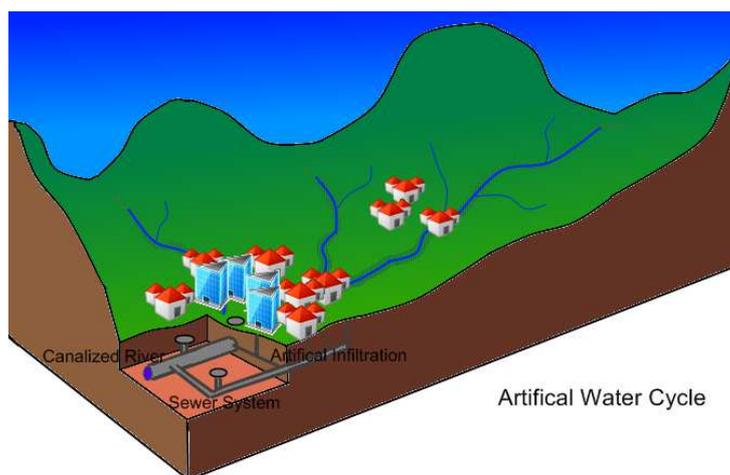


Figura 2 - Representação esquemática de uma zona urbana e de uma bacia hidrográfica, A zona urbana é uma zona impermeabilizada que por isso promove mais escoamento superficial, mas por outro lado é uma zona que inclui um sistema de drenagem subterrâneo que reduz o escoamento superficial

Modelo do sistema de drenagem para os estudos de inundação

A modelação dos sistemas de drenagem será efetuada com o programa SWMM (*Storm Water Management Model*), desenvolvido pela EPA (*US Environmental Protection Agency*) e que consiste num modelo dinâmico 1D para a simulação do escoamento superficial e transporte de poluentes, à superfície das bacias de drenagem e no interior dos coletores.

⁴ <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>

⁵ <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>

⁶ <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/soil-atlas-europe>

Os forçamentos de montante serão baseados nas previsões de precipitação disponíveis e será tido em conta o nível de maré a jusante. Serão ainda tidos em consideração a distinta distribuição de caudal e qualidade nos vários troços do sistema, consoante as condições de precipitação.

A integração de um modelo 1D (rede drenagem enterrada) com um modelo 2D (escoamento superficial) consiste na consideração dos processos que medeiam as trocas de caudal entre os mesmos, nomeadamente, a captação de caudal pelos dispositivos de interceção e o extravasamento de caudais para a superfície quando a capacidade do sistema de drenagem é ultrapassada. Tipicamente, modelos 1D, como o modelo SWMM, consideram que o escoamento gerado numa dada sub-bacia é totalmente encaminhado para o respetivo nó de entrada, refletindo-se numa eficiência de interceção dos respetivos dispositivos de interceção de 100%, o que não representa rigorosamente a realidade. Embora os dispositivos de interceção, em teoria, possam ter eficiências de captação elevadas, na realidade, estas eficiências tendem a não se verificar por variados motivos, como o posicionamento inadequado em relação à berma do passeio e outros elementos urbanos; a deformação do pavimento envolvente devido a elevadas temperaturas ou tráfego elevado; obstrução da entrada dos dispositivos por folhas e outros detritos; e a obstrução de caixas de visita, coletores ou outros equipamentos a jusante, uma vez que, quando o sistema entra em carga, é possível ocorrerem extravasamentos através dos próprios dispositivos de interceção, perdendo a sua função durante este período.

Desta forma, a integração dos modelos 1D e 2D é realizada através da consideração da eficiência dos dispositivos de interceção, limitando a afluência do escoamento ao sistema de drenagem de acordo com o número, localização e características dos dispositivos de interceção existentes. O caudal captado é encaminhado para o sistema de drenagem e simulado através do modelo 1D, sendo o caudal não intercetado (escoamento superficial) simulado através do modelo 2D. Caso ocorram extravasamentos em câmaras de visita, por entrada em carga do sistema de drenagem, os modelos voltam a interagir, sendo que os caudais extravasados (determinados pelo modelo 1D) são considerados como input no modelo 2D.

A Figura 3 esquematiza a metodologia proposta, para a modelação 1D/2D de sistemas de drenagem, válida para qualquer sistema de coletores servindo áreas urbanas costeiras, com aflúncias de montante, que descarregue num meio recetor sujeito a maré.

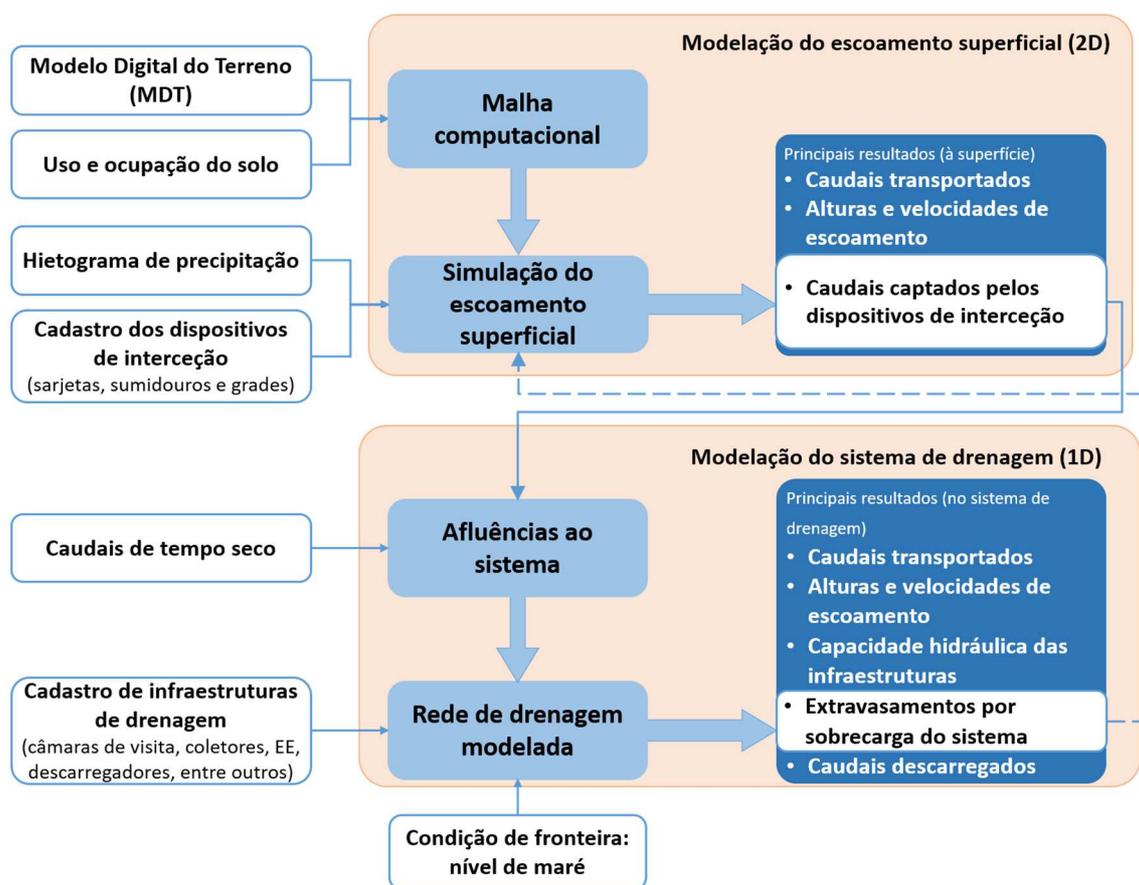


Figura 3 – Esquema do modelo de coletores

Modelação e previsão do impacte das descargas na qualidade das águas balneares

A qualidade das águas balneares em áreas urbanas pode ser significativamente influenciada pela descarga de águas pluviais. A sua previsão requer quatro componentes:

- 1) Modelo de previsão meteorológica,
- 2) Modelo das descargas do sistema de drenagem para o meio recetor,
- 3) Modelo da qualidade da água no sistema de drenagem,
- 4) Modelo hidrodinâmico e da qualidade da água no meio recetor.

Modelação das descargas do sistema de drenagem para o meio recetor

A modelação das descargas para o meio recetor é efetuada utilizando o modelo SWMM. Nas áreas em que não se pretende modelar em detalhe a inundação, não se justifica a acoplação do modelo MOHID Land com o SWMM, pelo que tanto a modelação da bacia de drenagem como a da rede de coletores são efetuadas no SWMM.

O SWMM permite a modelação da bacia de drenagem através do módulo do escoamento superficial. A Figura 4 ilustra a abordagem conceptual do módulo de escoamento superficial. Cada bacia de drenagem é representada como um reservatório não-linear, com uma capacidade de armazenamento superficial máxima. A infiltração só ocorre na parcela permeável do solo e pode ser modelada através de diferentes métodos: Horton; Green-Ampt; Horton modificado; Green-Ampt modificado; CN do Soil Conservation Service. O escoamento superficial é calculado pela equação de Manning.

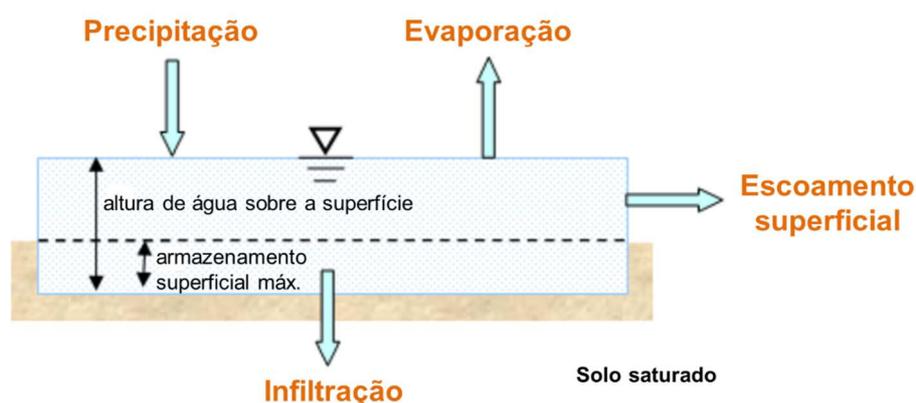


Figura 4 - Representação esquemática da modelação do escoamento superficial no SWMM (adaptado de Rossman, 2015)

O SWMM permite modelar a captura e retenção da precipitação ou do escoamento superficial através de componentes de Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS), tais como valas com revestimento vegetal, trincheiras de infiltração, pavimentos porosos, bioretenção e telhados verdes. Estes componentes, também designados por práticas de desenvolvimento de reduzido impacto (LID - *low impact development practices*), podem ser modelados através de controlos LID nas bacias de drenagem. Os controlos LID são representados por uma combinação de camadas verticais cujas propriedades são definidas com base na unidade de área. Dependendo do LID, as camadas podem ser: de superfície; de pavimento; de solo; de armazenamento; de material de drenagem ou sistema de drenos. A Figura 5 ilustra a modelação de um LID de bioretenção.

Os LID replicam os processos hidrológicos naturais no sistema urbano, aproximando o ciclo urbano da água ao ciclo natural. A sua utilização permite a redução dos caudais e dos volumes de escoamento, com benefícios em termos de controlo de inundações, controlo das descargas para os meios recetores e controlo da qualidade da água descarregada.

As descargas para o meio recetor ocorrem a partir do sistema de drenagem superficial (cursos de água, ribeiras e rios), das redes de coletores pluviais, dos descarregadores de tempestade de sistemas unitários e parcialmente separativos, das Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) e dos descarregadores de emergência dos sistemas intercetores e das ETAR.

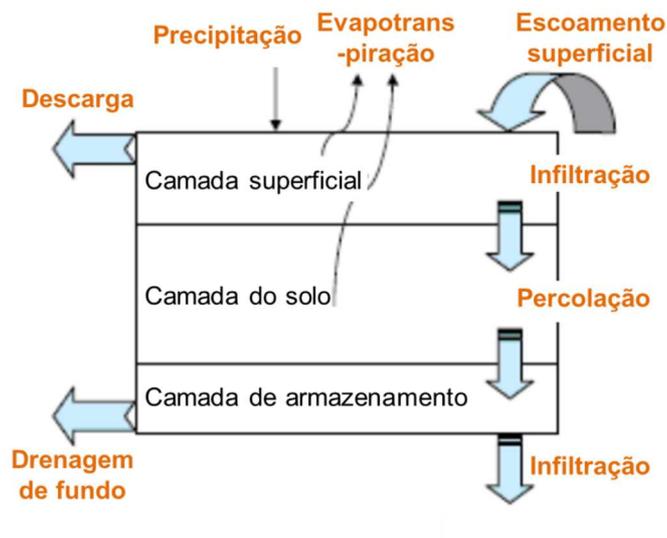


Figura 5 - Representação esquemática de um LID para bioretenção (adaptado de Rossman, 2015)

No SINERGEA, o sistema de drenagem vai ser modelado através do acoplamento do MOHID com o SWMM nas áreas em que se pretende modelar a inundação em detalhe. Vai ser utilizado apenas o SWMM para modelar os restantes sistemas de drenagem e o sistema interceptor. A ETAR irá ser modelada de forma muito simplificada utilizando também o SWMM.

A Figura 6 representa as variáveis de entrada e de saída entre os modelos utilizados para a modelação e previsão das descargas descarregadas no meio recetor. Os sistemas de drenagem e interceptor irão sofrer a influência da maré, a partir do modelo do meio recetor.

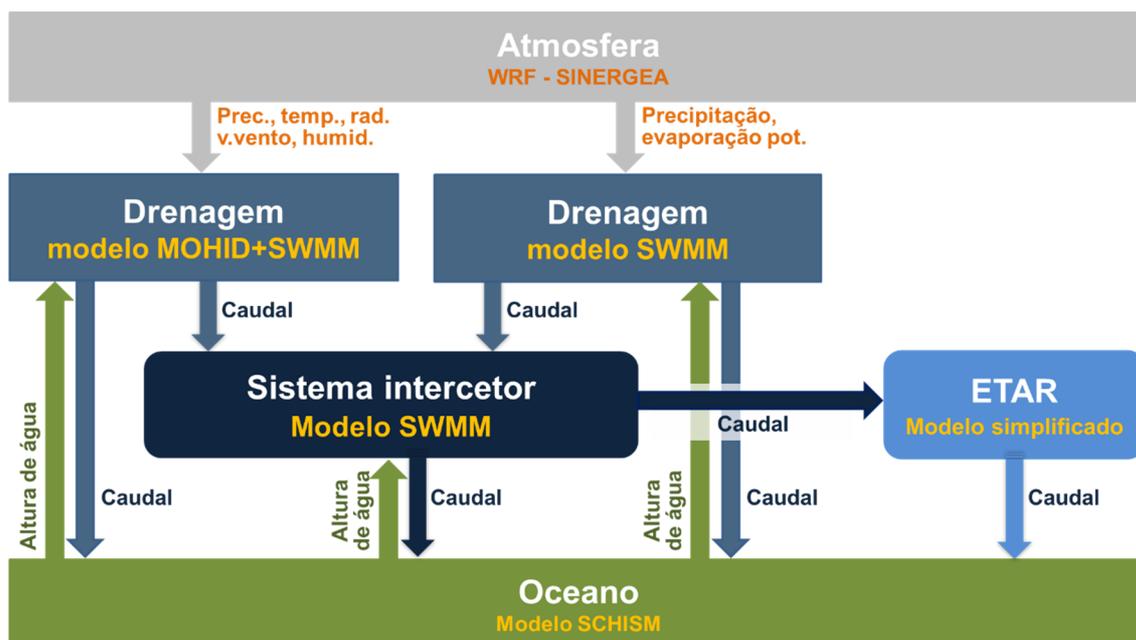


Figura 6 - Variáveis de entrada e de saída entre modelos para modelação e previsão dos caudais descarregados no meio recetor

Modelação da qualidade da água no sistema de drenagem

A modelação da qualidade da água de sistemas de drenagem permite geralmente a modelação de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, tanto das águas pluviais como das águas residuais. Dependendo do problema em análise, alguns parâmetros típicos na modelação de águas pluviais incluem: sólidos suspensos totais (SST), carência química de oxigénio (CQO), azoto total ou amoniacal, nutrientes, hidrocarbonetos, metais pesados e indicadores microbiológicos.

No SINERGEA, a *Escherichia coli* (*E. coli*) e os enterococos intestinais serão modelados, por serem os indicadores de contaminação fecal contemplados na Diretiva da Gestão da Qualidade das Águas Balneares (Diretiva 2006/7/CE, de 15 de fevereiro).

A qualidade das águas residuais domésticas varia ao longo do dia e de acordo com as características da ocupação urbana e das atividades comercial e industrial, embora tenda a ter padrões de variação diária, mensal e de sazonalidade anual que podem ser monitorizados. O estudo das atividades da bacia de drenagem, a extensa bibliografia sobre a qualidade das águas residuais domésticas, comerciais e industriais e a monitorização durante determinados períodos de tempo em pontos selecionados da rede permitem a obtenção de modelos calibrados para a maior parte dos indicadores físico-químicos e microbiológicos.

No entanto, a incerteza associada às variações espacial e temporal da qualidade das águas pluviais e as dificuldades de realizar campanhas de monitorização representativa dessas variações torna a modelação da qualidade das águas pluviais muito mais incerta e difícil de calibrar. A variação da qualidade da água ao longo da bacia de drenagem depende não só da ocupação e das atividades nesta, como também da variação das condições de deposição, degradação e arrastamento dos poluentes ao longo do espaço. A qualidade da água também pode variar significativamente durante os eventos de precipitação, entre diferentes eventos de precipitação e ao longo de uma sucessão de eventos, em função de características da precipitação, tais como: as intensidades médias e máximas instantâneas de precipitação, a duração da precipitação e o tempo seco antecedente à precipitação. Os fluxos de cargas poluentes, incluindo fenómenos de “first-flush” (Hathaway and Hunt, 2011), podem ser significativamente exacerbados em sistemas de drenagem unitários ou parcialmente separativos, dado que em tempo seco se vão depositando nos coletores detritos e substâncias das águas residuais, que são posteriormente degradados e arrastados pelas águas pluviais (David, 2006; Pongmalaac et al., 2016; Wijesiri et al., 2016).

Assim, devido à elevada complexidade dos fenómenos e às incertezas e dificuldades de calibração associadas, a modelação da qualidade da água deve ser feita apenas para os parâmetros relevantes para cada problema, sendo frequente considerarem-se apenas concentrações médias por evento de precipitação (CME). No entanto, existem algoritmos que modelam a variação da qualidade da água entre eventos de precipitação ou ao longo dos eventos de precipitação, em função de características da bacia de drenagem e de parâmetros das precipitações. Geralmente estes algoritmos utilizam equações de deposição e arrastamento de partículas nas bacias de drenagem. Devido às dificuldades de calibração de diversos poluentes num único sistema, alguns algoritmos modelam a variação das concentrações de SST ao longo dos eventos e utilizam relações entre as concentrações de SST e outros poluentes.

O programa SWMM permite modelar a qualidade da água com qualquer uma das abordagens descritas anteriormente (Rossman, 2015). O MOHID Land simula a geração de água pluvial que se escoam para o sistema de drenagem urbano simulado pelo modelo SWMM e contribuindo para melhorar as previsões desse modelo. Quando o sistema de drenagem descarrega pelas descargas de emergência o MOHID Land recebe a água descarregada e transporta-a ao longo das linhas de água superficial até ao mar. Quando o sistema de drenagem extravasa, o modelo MOHID Land recebe a água descarregada pelo SWMM nas ruas e simula a propagação da cheia e a qualidade da água superficial durante a inundação, até que esta chegue às linhas de água superficial ou volte a entrar na rede de drenagem. Em ambos os casos o MOHID Land simula a qualidade da água.

A afluência de águas pluviais às ETAR provoca, geralmente, perdas de eficácia e de eficiência do tratamento, por vezes durante alguns dias após as chuvadas, dependendo das tecnologias de tratamento e dos parâmetros em causa. No SINERGEA, os efeitos da afluência de águas pluviais na eficácia das ETAR irão ser modelados de forma simplificada, utilizando o SWMM.

Como descrito em David et al. (2015), os modelos do sistema de drenagem e da ETAR serão integrados com o modelo de qualidade da água do meio recetor (Figura 7). As Tabelas 1 a 3 sumarizam os requisitos desta componente.

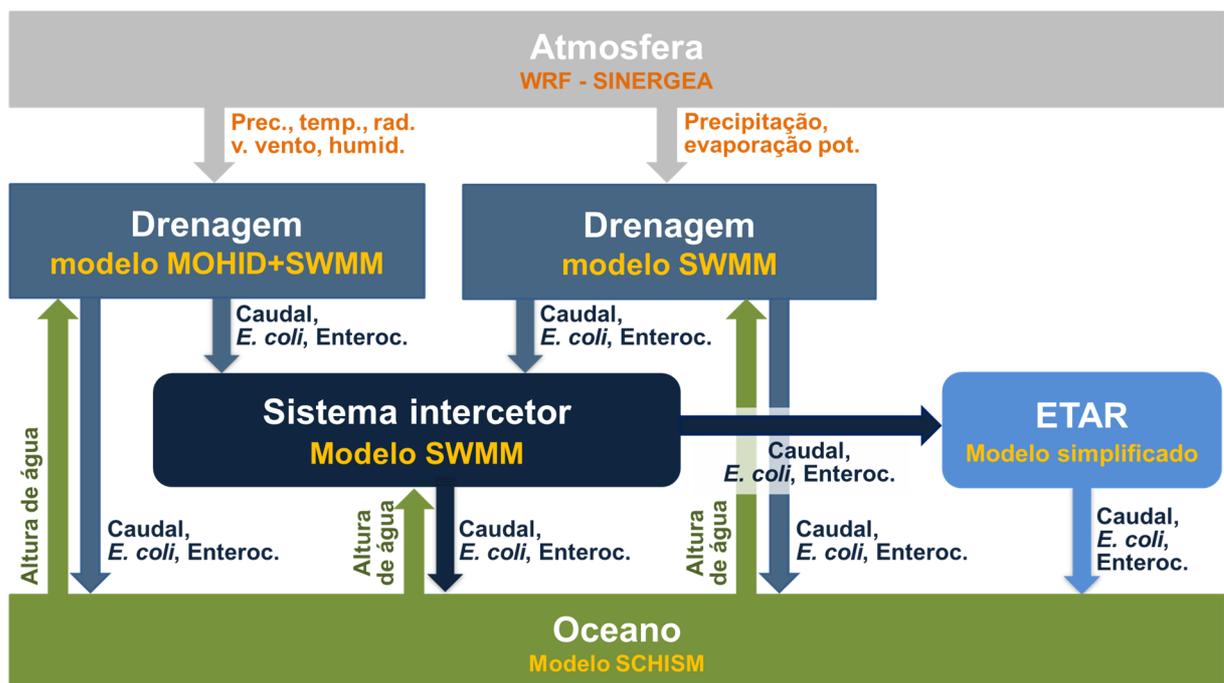


Figura 7 - Variáveis de entrada e de saída entre modelos para modelação e previsão da qualidade das descargas descarregadas no meio recetor

Tabela 1. Requisitos de forçamentos para a definição das condições de fronteira do modelo da qualidade da água do MOHID+SWMM

Fronteira	Dados	Fontes de Informação	Entidade fornecedora	Acesso
Atmosfera	Precipitação, temperatura, velocidade do vento, radiação, humidade do ar	Modelo WRF-IST	IST	Privado

Tabela 2. Requisitos de forçamentos para a definição das condições de fronteira do modelo da qualidade da água do SWMM (inclui sistema interceptor)

Fronteira	Dados	Fontes de Informação	Entidade fornecedora	Acesso
Atmosfera	Precipitação	Modelo WRF-IST	IST	Privado
Sistema MOHID +SWMM	Caudal, <i>E. coli</i> , enterococos intestinais	Modelo MOHID +SWMM	LNEC	Privado

Tabela 3. Requisitos de forçamentos para a definição das condições de fronteira do modelo da qualidade da água da ETAR

Fronteira	Dados	Fontes de Informação	Entidade fornecedora	Acesso
Atmosfera	Precipitação	Modelo WRF-IST	IST	Privado
Sistema interceptor	Caudal, <i>E. coli</i> , enterococos intestinais	Modelo SWMM	LNEC	Privado

Modelação da hidrodinâmica e qualidade da água no meio recetor

No meio recetor os modelos costeiros visam produzir previsões de variáveis físicas (níveis, velocidades, temperatura e salinidade) e de indicadores da qualidade microbiológica das águas costeiras (e.g. Rodrigues et al., 2011, 2016; Fortunato et al., 2017a). As variáveis microbiológicas consideradas são indicadores de contaminação fecal (*E. coli* e enterococos intestinais) e permitem determinar a adequabilidade da qualidade da água para fins balneares. Serão simuladas as seguintes variáveis: níveis, velocidades, agitação marítima, salinidade, temperatura, *E. coli* e enterococos intestinais.

A modelação da qualidade da água no meio recetor será realizada com o sistema de modelação numérica SCHISM – Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model (Zhang et al., 2016; <http://ccrm.vims.edu/schism/>) em modo tridimensional (3D). Este sistema de modelação teve na sua génese o modelo numérico SELFE (Zhang e Baptista, 2008) e foi desenvolvido por várias instituições, sendo liderado pelo *Virginia Institute of Marine Sciences*. A componente central do SCHISM é um modelo hidrodinâmico, que resolve as equações de águas pouco profundas (*shallow water equations*) para a elevação da superfície livre e as três componentes da velocidade. O SCHISM é um modelo comunitário de código aberto, que utiliza malhas não-estruturadas para a simulação a diferentes escalas desde o rio até ao oceano. O modelo encontra-se paralelizado, o que permite otimizar os tempos de computação. Este sistema de modelação possui vários módulos que permitem a simulação de diferentes

processos, como a agitação marítima (Roland et al., 2012), a qualidade da água (Rodrigues et al., 2009, 2011), o transporte de hidrocarbonetos (Azevedo et al., 2014), a dinâmica sedimentar e a morfodinâmica (Pinto et al., 2012, Guerin et al., 2016), entre outros.

O SCHISM combina, assim, um elevado desempenho computacional com o acoplamento de todos os processos relevantes para a simulação da qualidade da água na zona costeira, incluindo a simulação da circulação acoplada ondas-correntes e dos indicadores microbiológicos relevantes. A utilização de malhas não-estruturadas permite também o acoplamento a um modelo de campo próximo, de particular relevância para os processos em questão. Em zonas costeiras, os efluentes residuais são muitas vezes descarregados através de emissários submarinos, que promovem uma diluição inicial da pluma associada a processos denominados de campo próximo. Estes processos podem ocorrer a escalas temporais de segundos a minutos e a escalas espaciais de centímetros a metros (Zhang e Adams, 1999). As plumas geradas podem ser posteriormente transportadas para locais afastados da descarga, a escalas de metros a quilómetros (campo afastado). A simulação simultânea dos processos de campo próximo e afastado com um único modelo apresenta, no entanto, dificuldades relacionadas com a discretização do domínio de cálculo, a representação adequada da pluma e os tempos computacionais (Zhang e Adams, 1999), sendo a utilização de modelos acoplados ainda escassa. A utilização de um modelo de elevada resolução como o SCHISM permite representar simultaneamente os processos de campo próximo e de campo afastado. No presente sistema será utilizado o modelo RSB (Roberts et al., 1989a,b; Economopoulou e Economopoulos, 2001) para a simulação do campo próximo, conforme descrito em Rodrigues (2012).

A circulação na zona costeira é determinada pelos efeitos da maré, do vento e da agitação marítima. A maré é dominante em zonas confinadas, como estuários. O vento condiciona a circulação a larga escala, enquanto a agitação marítima é particularmente relevante na zona de rebentação, onde o uso balnear é mais intenso. Assim, é fundamental simular todos estes efeitos.

A agitação marítima será simulada pelo módulo WWM (Roland et al., 2012), que está integrado no SCHISM. Este modelo simula a geração e a propagação da agitação marítima através da resolução da equação de conservação da densidade espectral de energia, usando a mesma malha de cálculo que o SCHISM. As forças devidas às ondas podem ser determinadas através das tensões de radiação ou através da força vortex. O modelo de agitação marítima será forçado nas fronteiras abertas por uma aplicação do modelo WaveWatch3 ao Atlântico Norte. Por sua vez, este será forçado por campos de vento fornecidos por previsões atmosféricas de larga escala (NCEP) ou, nas simulações em modo de *hindcast*, por reanálises (e.g., ERA5). À superfície, o modelo WWM será forçado pelos ventos obtidos com as simulações de alta resolução do modelo WRF descritas acima.

No que se refere à modelação das variáveis microbiológicas, os processos considerados no SCHISM são a advecção e a difusão, o decaimento de primeira ordem devido à mortalidade e a sedimentação das bactérias agregadas aos sedimentos em suspensão. Assim, a variação espacial e temporal da concentração das bactérias indicadoras de contaminação fecal é genericamente representada por:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\kappa \frac{\partial C}{\partial z} \right) + F_h + \Delta C \quad (1)$$

onde C é a concentração de um traçador microbiológico genérico (UFC.m^{-3}), (u,v,w) é a velocidade (m.s^{-1}), κ é a difusividade vertical ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$), F_h representa o termo de difusão horizontal e ΔC representa o termos de fontes e sumidouros. As fontes e sumidouros considerados são:

$$\Delta C = -k_d C - f_s v_s \frac{\partial C}{\partial z} \quad (2)$$

onde k_d é a taxa de mortalidade (s^{-1}) das bactérias, f_s (adimensional) é a fração de bactérias agregadas aos sedimentos em suspensão na coluna de água e v_s (m.s^{-1}) é a velocidade de queda. Para a representação da taxa de mortalidade existem quatro opções disponíveis: um valor constante, definido pelo utilizador, a formulação de Canteras et al. (1995), a formulação de Servais et al. (2007a,b)/Brauwere et al. (2011) e a formulação de Chapra et al. (1997). A abordagem utilizada para calcular a sedimentação das bactérias entéricas é similar à descrita por Steets e Holden (2003), que consideram que uma fração de bactérias se encontra agregada aos sedimentos em suspensão. A fração de bactérias agregada aos sedimentos em suspensão é definida de acordo com Bai e Lung (2005). Detalhes adicionais sobre o modelo de qualidade da água encontram-se disponíveis em Rodrigues et al. (2011).

De forma genérica, a implementação do modelo de qualidade da água do meio recetor deverá atender aos seguintes requisitos:

- definição do domínio de estudo e sua discretização através das malhas horizontal e vertical;
- definição das condições iniciais
- definição dos forçamentos relevantes, nomeadamente das condições de fronteira.

Relativamente às condições de fronteira, serão considerados os seguintes forçamentos sempre que relevantes para o caso de estudo: i) forçamento oceânico, através da imposição de condições de níveis, velocidades, agitação marítima, salinidade, temperatura e concentrações de *E. coli* e enterococos intestinais; ii) forçamento fluvial e da drenagem urbana, através da imposição de caudais, salinidade, temperatura e concentrações de *E. coli* e enterococos intestinais; e iii) forçamento atmosférico à superfície, através da imposição de condições de vento, pressão atmosférica, temperatura do ar, humidade relativa, radiação solar e radiação de longo comprimento de onda incidente. A Tabela 4 e a Figura 8 sintetizam os requisitos para uma aplicação genérica do modelo do meio recetor.

Tabela 4. Requisitos de forçamentos para a definição das condições de fronteira do modelo do meio recetor

Fronteira	Dados	Fontes de Informação	Entidade fornecedora	Acesso
Oceânica	Níveis, velocidades, salinidade, temperatura	Modelo IBI-CMEMS Modelo Global-CMEMS	CMEMS	Público
Oceânica	Espectros	WAVEWATCH-III	LNEC	Privado
Oceânica	<i>E. coli</i> , enterococos intestinais	Climatologia	-	-
Fluvial e Drenagem Urbana	Caudal, <i>E. coli</i> , enterococos intestinais	Modelo de drenagem urbana Dados de monitorização	IST LNEC APA/SNIRH Outros	Privado Público
Superfície (forçamento atmosférico)	Vento, pressão atmosférica, temperatura do ar, humidade relativa, radiação solar e radiação de longo comprimento de onda	Modelo WRF-IST Modelo ARPEGE Modelo GFS	IST Météo France NOAA	Privado Público

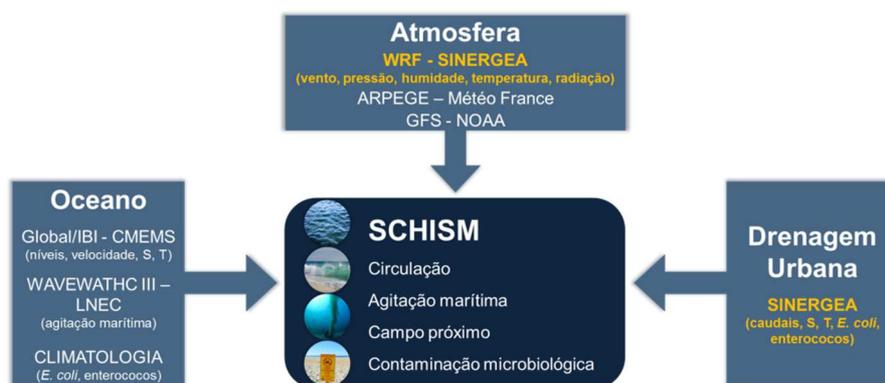


Figura 8 - Forçamentos do modelo do meio recetor

Modelação do consumo de energia em sistemas de drenagem urbana

O SWMM permite a modelação hidráulica de estações elevatórias (EE), embora não inclua a componente do consumo de energia, tal como a maioria dos programas de simulação da drenagem urbana (e.g., Innovyze, 2020; DHI, 2020). No SINERGEA será implementado um modelo genérico e determinístico do consumo de energia e serão ainda investigados modelos baseados em dados (*data-driven approaches*) (e.g., Zeng et al., 2016; Kalaiselvan et al., 2016) que se adequem aos objetivos do caso de estudo e aos dados a monitorizar, para comparação e utilização complementar destas duas abordagens.

A modelação determinística e em tempo real da energia nas EE requer o conhecimento dos caudais bombeados e a caracterização das infraestruturas, equipamentos, reservatórios e condutas elevatórias do sistema em estudo. Para a calibração do modelo terão de ser efetuadas campanhas de monitorização dos caudais, pressões e consumos energéticos (Kaya et al., 2008; Wilcoxson and Badruzzaman, 2013). Nas estações elevatórias, constituídas por vários grupos eletrobomba, é necessário conhecer o caudal a elevar, a altura manométrica e o rendimento das bombas. O desempenho das bombas é afetado pelo seu estado de conservação e manutenção, sendo a degradação mais acentuada nos primeiros anos de utilização (Leite et al., 2014). O rendimento do grupo eletrobomba é função da eficiência hidráulica da bomba, da eficiência do motor elétrico e, se aplicável, da eficiência do variador de frequência que controla o motor da bomba, das condutas de aspiração e compressão. Kalaiselvan et al. (2016) fazem uma apreciação crítica de um conjunto alargado de equações. Para avaliação do desempenho dos grupos são realizadas auditorias específicas, sendo a caracterização do funcionamento das bombas *in situ* efetuada pelo método “convencional-potência (ativa, reativa e aparente), caudal, pressão” ou pelo método termodinâmico (Leite et al., 2014).

Os modelos *data-driven* apresentam-se particularmente atrativos no caso de sistemas de grande complexidade, como na otimização do uso de várias bombas em paralelo, com diversas possibilidades de combinação de bombas e em que o aumento das variáveis e das incertezas da modelação determinística ganha maior significado (Zeng et al., 2016). Kalaiselvan et al. (2016) analisa um conjunto alargado de equações e procedimentos para a modelação do consumo de energia de estações elevatórias, incluindo métodos de otimização do controlo que, em função da afluência, identifica o número de bombas a funcionar e a respetiva velocidade de rotação. Os algoritmos de otimização afetam também as soluções ótimas do funcionamento e controlo dos grupos de bombagem (Alighalehbabakhani et al., 2015).

A otimização energética do funcionamento das redes de drenagem, além de prever uma redução das necessidades de energia, vai incluir também aspetos relacionados com o controlo da potência de pico, do tarifário e a eventual incorporação das Fontes de Energia Renovável (FER), aspeto pouco relevado na generalidade dos trabalhos anteriores. No SINERGEA pretende-se alargar as oportunidades de aumento da eficiência energética através da utilização de diferentes cenários de funcionamento da rede de drenagem como um todo (coletores, sequência de EE e ETAR), incluindo a gestão de afluências pluviais e de infiltração a montante.

Deste modo, na modelação será aplicado o princípio da conservação de energia, sendo desenvolvidos modelos para as diversas componentes do sistema, para que seja possível realizar uma estimativa do consumo de energia. Nesses modelos, serão integrados parâmetros para se ponderar a degradação do rendimento dos sistemas e se possível realizar uma melhor análise dos custos do ciclo de vida. Esse modelo deverá ser validado com dados de registo histórico e com ensaios específicos para cada componente do sistema. Na tabela 5 resumem-se os requisitos relativos a esta componente.

Tabela 5. Requisitos de forçamentos para a definição das condições de fronteira do modelo do consumo de energia

Fronteira	Dados	Fontes de Informação	Entidade fornecedora	Acesso
Sistema MOHID+SWMM em baixa	Caudais das EE	Modelo MOHID+SWMM em baixa	IST	Privado
Sistema SWMM em alta	Caudais das EE e da descarga para a ETAR	Modelo SWMM	LNEC	Privado
Atmosfera	Precipitação (para modelo dos efeitos da eficiência na ETAR)	Modelo WRF-IST	IST	Privado
Atmosfera	Radiação solar, temperatura e vento (para modelo FER)	Modelo WRF-IST	IST	Privado

Sistemas de previsão em tempo real

Abordagem geral

O desenvolvimento de um sistema integrado de previsão em tempo real que dê cumprimento ao projeto SINERGEA envolve o desenvolvimento de vários passos:

1. Identificar/definir os modelos de simulação e a forma como se encadeiam;
2. Identificar dados estáticos de entrada dos modelos (malhas e outros dados necessário ao estabelecimento inicial);
3. Identificar dados dinâmicos de entrada dos modelos (forçamentos e outros dados necessário à execução);
4. Identificar fontes e formatos dos dados de entrada dinâmicos;
5. Definir os dados de saída dos modelos;
6. Definir procedimentos de verificação dos dados de entrada e saída;
7. Definir produtos de visualização baseados nos resultados dos modelos;
8. Definir formas de acesso aos resultados dos modelos;
9. Definir o modelo de dados para suportar o armazenamento estruturado da informação e estado do sistema;
10. Definir sistema(s) de armazenamento do histórico e formas de acesso;
11. Definir mecanismos de alerta/notificação/monitorização;
12. Definir mecanismos de configuração/operação dos sistemas de previsão;
13. Definir as componentes do sistema de previsão;
14. Identificar recursos de computação necessários à operação do sistema de previsão;
15. Implementar o sistema de previsão em tempo real.

Descreve-se abaixo cada um destes requisitos em detalhe.

Descrição dos requisitos

1. Identificar/definir os modelos de simulação e a forma como se encadeiam

O sistema de previsão é um encadeamento de modelos no qual os resultados de uns alimentam outros até que todas as dependências sejam resolvidas. É necessário definir a ordem de execução e a cadência de cada um dos modelos e garantir que todas as dependências são resolvidas. Isto é, definir a ordem de execução por forma a que todos os dados de entrada de cada modelo estejam resolvidos/disponíveis a quando da sua execução.

2. Identificar dados estáticos de entrada dos modelos (malhas e outros dados necessário ao estabelecimento inicial)

Listar e descrever o formato de todos os dados (ficheiros, na maioria dos casos) necessários ao estabelecimento inicial de cada modelo. Estes dados serão constantes durante a vida do sistema.

3. Identificar dados dinâmicos de entrada dos modelos (forçamentos e outros dados necessário à execução)

Listar e descrever o formato de todos os dados necessários à execução, periódica, de cada modelo. Estes dados terão de ser recolhidos ou produzidos antes da execução de cada modelo.

4. Identificar fontes e formatos dos dados de entrada dinâmicos

Dada a necessidade de recolher e/ou produzir os dados de entrada dinâmicos, é necessário identificar e descrever a(s) sua(s) fonte(s), seja(m) na forma de serviços online (por exemplo: CMEMS do Copernicus ou GFS da NOAA) ou resultados de outros modelos do sistema (por exemplo: séries de caudal do SWMM). Adicionalmente, é necessário garantir a sua compatibilidade com o(s) modelo(s) que os utilizam (por exemplo: formato netCDF sflux para os forçamentos atmosféricos do SCHISM). Outro tipo comum de dados de entrada dinâmicos são os ficheiros de configuração que necessitem de ajustes a cada execução.

5. Definir quais os dados de saída dos modelos

Cada modelo terá que produzir resultados para satisfazer as dependências de outros modelos do sistema ou criação de produtos. Adicionalmente, cada modelo também deverá guardar o seu estado de simulação, de forma a ser possível iniciar outra simulação a partir desse estado (*hotstarting*).

6. Definir procedimentos de verificação dos dados de entrada e saída

De forma a garantir que os dados de entrada e saída são consistentes com o que é esperado de cada modelo, devem ser definidos procedimentos que permitam identificar desvios ou falhas.

7. Definir produtos de visualização baseados nos resultados dos modelos

Caracterizar a forma de apresentação gráfica dos resultados dos modelos.

8. Definir formas de acesso aos resultados dos modelos

Caracterizar a forma de acesso aos resultados dos modelos, sejam eles visualizações gráficas, séries ou outros tipos de resultados.

9. Definir modelo de dados para suportar o armazenamento estruturado da informação e estado do sistema

Formalizar a estrutura de dados que suporta o arquivo e estado do sistema, por forma a permitir uma operação eficiente.

10. Definir sistema(s) de armazenamento do histórico e formas de acesso

Selecionar solução(ões) de armazenamento para os vários tipos de dados e resultados produzidos pelo sistema de previsão ao longo do tempo.

11. Definir mecanismos de alerta/notificação/monitorização

De forma a garantir que o estado de operação do sistema de previsão é comunicado ao(s) administrador(es) em tempo oportuno, devem criar-se mecanismos de alerta/notificação/monitorização que o tornem possível.

12. Definir mecanismos de configuração/operação do sistema de previsão

De forma a minimizar os riscos de falha do sistema causadas pela realização de tarefas de manutenção ou configuração, devem criar-se mecanismos que permitam a execução das tarefas mais comuns de forma expedita.

13. Definir as componentes do sistema de previsão

Caracterizar as componentes do sistema de previsão por forma a dar resposta a todos os aspetos dos requisitos que assim o obriguem. A divisão do sistema de previsão em componentes permite maior modularidade e independência de operação, propriedades que facilitam a gestão e aumentam a robustez da solução.

14. Identificar recursos de computação necessários à operação do sistema de previsão

Parte dos requisitos necessitam de recursos computacionais, de forma permanente, para serem cumpridos recorrentemente (em especial a execução dos modelos que compõem o sistema de previsão). É necessário descrever, de forma detalhada, o ambiente de execução de cada modelo e de todas as restantes componentes que compõem o sistema. Adicionalmente, de forma a determinar os recursos (tempo de CPU/quantidade de memória RAM ou armazenamento em disco) necessários à operação de todo o sistema, será necessário aferir, em condições reais, a utilização dos recursos de cada componente.

15. Implementar o sistema de previsão em tempo real

Desenvolvimento de todas as componentes do sistema de previsão.

Desenvolvimento do sistema de previsão para o projeto SINERGEA

O sistema de previsão a utilizar no projeto é baseado na infraestrutura de previsão em tempo real WIFF – Water Information Forecast Framework, desenvolvida pelo LNEC para aplicação a qualquer meio aquático e sua interface urbana (Oliveira et al., 2014, 2020; Fortunato et al., 2017b). Esta infraestrutura, genérica e adaptável a qualquer localização geográfica, integra um conjunto de modelos numéricos que correm diariamente em ambientes de computação de elevada performance (Rogero et al., 2017).

A infraestrutura de modelação descrita acima será incorporada na infraestrutura WIFF de modo a simular, de forma automática, várias vezes por dia, os processos nos vários compartimentos (bacia de drenagem, meio urbano e zonas costeiras) das várias vertentes (energia, inundação,

qualidade das águas balneares). Destaca-se, em particular, o alargamento à inundação urbana detalhada e às interações entre ondas e correntes quer na hidrodinâmica quer na qualidade da água do meio recetor, e à modelação da energia. De modo a poder alargar a comparação em tempo real, entre dados e resultados das previsões, a novas variáveis a serem monitorizadas na temática do projeto, a infraestrutura será também melhorada para acolher e processar novos dados de monitorização.

Os sistemas de previsão do escoamento em zonas urbanas fazem previsões com a antecedência permitida pelos modelos de previsão meteorológica. A confiança das previsões dos modelos de previsão meteorológica diminui com a antecedência das previsões como referido acima e por isso as previsões são atualizadas várias vezes ao dia, através da assimilação de dados à medida que vão ficando disponíveis. Pela mesma razão, o modelo hidrológico simulará várias vezes o mesmo período.

A bacia de drenagem tem capacidade de acomodação de grande parte da água da chuva, o que lhe confere maior inércia do que a inércia na atmosfera. Por outro lado, a resolução espacial do modelo da bacia de drenagem tem de ser superior à do modelo atmosférico. Por estas duas razões, o modelo hidrológico fará previsões várias vezes ao dia com antecedência de 3 dias. À escala de tempo de 3 dias as previsões meteorológicas já são de maior confiança (especialmente os eventos extremos) e ainda há tempo para preparar a gestão do evento. Por outro lado, os custos computacionais mantêm-se moderados.

Sistema inteligente para operação otimizada XHQ-SINERGEA

O sistema XHQ

O XHQ, acrónimo para eXtended HeadQuarters, é um software de Enterprise Operations Intelligence, desenvolvido pela Siemens, que permite a agregação, integração, análise e apresentação de informação de várias fontes de dados de *back-end*.

O XHQ providencia uma forma consistente e coerente para analisar e visualizar todas as informações críticas, sejam dados do negócio, sejam dados operacionais, de um sistema ou organização, facilitando a sua contextualização com vistas adaptadas às necessidades dos utilizadores. Isto permite que tanto o pessoal de campo / operação, como o pessoal responsável pela gestão monitorize e compare o desempenho em tempo real com os objetivos definidos, podendo assim tomar decisões mais bem informadas e em tempo útil que permitam impactar o resultado final de uma forma positiva.

O XHQ é uma plataforma abrangente com uma estrutura extensível e adaptável, com diversas opções de visualização, aplicação e conectividade, que permite organizar informação com origem em fontes de dados muito dispares. A plataforma pode trabalhar com dados de séries temporais, dados relacionais, *tags* de processo, documentos, etc., e integra-se com sistemas e interfaces comerciais comumente disponíveis incluindo OSIsoft PI e Asset Framework, Honeywell PHD, AspenTech IP 21, AspenTech Batch 21, Simatic Batch, Simatic PCS 7 Simatic PCS neo, Simatic IT, OPC DA, HDA e UA, SAP, bases de dados Oracle, Microsoft SQL Server, Microsoft Access, ODBC, Microsoft Excel, Documentum, Web Services, SNMP, REST Web Services e MindSphere IoT.

O XHQ não requer programação, mas necessita de ser configurado, de acordo com as necessidades. Pode ser integrado na infraestrutura de IT existente, é escalável para centenas ou milhares de utilizadores simultâneos a partir de um único servidor Windows e não requer a instalação de software próprio nos clientes.

O XHQ separa a configuração do IT de *back-end* da configuração de visualização, o que reflete as funções típicas num ambiente de trabalho (o pessoal de IT, normalmente, configura a conectividade, enquanto os engenheiros de processo configuram os sinópticos e o fluxo de trabalho). O XHQ aumenta a vida útil ou a visibilidade de sistemas pré-existentes ao integrá-los num ambiente colaborativo baseado na Web.

O XHQ é uma plataforma de baixo custo de manutenção que pode ser administrada, expandida, e suportada pelos departamentos de IT existentes.

O XHQ fornece:

- Consciência situacional: integrando informações com origem em múltiplas aplicações;
- Acesso ao Digital Twin: visão comum para toda a informação seja de negócio, operacional ou de engenharia;
- Suporte à decisão: permite agir de forma mais rápida e consistente para melhorar operações e agir sobre problemas;

O que permite:

- A contextualização de dados de engenharia, operacionais, 2D, 3D e muito mais;
- Tomar decisões melhores e mais rápidas - a qualquer hora e em qualquer lugar;
- Ter informações em tempo real à disposição;
- Fazer uso dos dados que já se possui;
- Quebrar barreiras entre silos de software;
- Aplicar análises a problemas complicados;
- Reduzir os custos operacionais e de manutenção.

Historicamente, os setores de petróleo e gás e o das indústrias de produtos químicos têm sido os mais recetivos ao software, mas muitas outras indústrias consideraram o XHQ útil e têm vindo a utilizá-lo em diferentes contextos e aplicações, como é o caso da indústria das Águas.

De acordo com a Advanced Manufacturing Research (AMR), para cada utilizador de um sistema ERP, outros 10 poderiam fazer um trabalho melhor se tivessem acesso à informação. O XHQ permite alcançar esses utilizadores. O XHQ é especialmente útil para pessoas que precisam de informação de vários sistemas para realizar o seu trabalho.

Seguem-se algumas das formas como o XHQ pode ser usado:

- Os gestores podem visualizar atualizações de estados operacionais em tempo real através de um modelo visual da organização. É possível localizar facilmente resumos dos indicadores de desempenho para cada divisão sob o seu controle;
- Os planeadores e analistas podem visualizar representações em tempo real da operação atual, completas com projeções de execução futura e comparar o desempenho atual e passado;

- Os supervisores de departamentos e atividades podem ter uma visão geral dos processos sob o seu controlo, seja na entrada de pedidos, manutenção, operação ou outras áreas;
- Os responsáveis por tarefas específicas podem obter informações de vários sistemas e tomar melhores decisões no seu trabalho diário.

O XHQ pode extrair dados da maioria dos sistemas capazes de fornecer dados. Os dados podem ser extraídos usando "conectores" que se ligam a várias fontes de dados usando um protocolo apropriado. Os conectores isolam os restantes componentes do XHQ dos detalhes relativos às diferentes fontes de dados.

Um conector é um coletor de dados que faz a ligação a outros sistemas e que permite que o ambiente XHQ extraia dados de uma fonte de *back-end*. Os conectores do XHQ fazem a gestão da coleta de dados e eventos de fontes como:

- Bases de dados relacionais;
- Fontes de dados acessíveis por API;
- Fontes de dados não relacionais, como *process historians*;
- Sistemas de gestão documental;
- Formulários;
- Sistemas ERP
- Serviços web;
- Data lakes.

A partir dessas fontes, os conectores XHQ acedem a três categorias diferentes de dados:

- Dados CPoint de dispositivos de aquisição de dados ou sistemas de controlo de processo;
- Coleções de dados relacionais com base numa *query*;
- Dados baseados em tempo de sistemas de dados históricos ou mecanismos de dados preditivos.

Depois dum conector ser configurado, os dados do sistema *back-end* são mapeados para o XHQ usando *queries* ou declarações dos parâmetros do protocolo nos campos de entrada de dados.

No caso de existirem sites remotos, a Siemens desenvolveu vários mecanismos para ajudar a obter essa informação. Se a conectividade e as regras de IT o permitirem, o site remoto poderá ser integrado numa solução XHQ diretamente.

Se outro site (por exemplo, um local separado) tiver um sistema XHQ, é possível abrir duas sessões do browser, uma para ver o site local e outra para consultar as informações do site externo. Se o site externo tiver o seu próprio servidor XHQ, os dois sites poderão ser ligados através do conector hierárquico do XHQ para disponibilizar todos os dados em todos os clientes.

O XHQ recolhe dados a pedido e não tem como objetivo substituir sistemas de supervisão e de arquivo tradicionais. Os dados podem ser armazenados em cache, no entanto; quando outros utilizadores solicitam os mesmos dados, o XHQ fornecerá os dados da cache. Esta abordagem minimiza a carga no sistema de *back-end* e garante um desempenho mais rápido da visualização.

Os clientes XHQ “falam” com o servidor XHQ e o servidor XHQ “fala” com os sistemas de *back-end*. Assim, os clientes XHQ não fazem ligações diretas individuais aos sistemas de *back-end*. Como resultado desta filosofia, o XHQ permite eliminar software duplicado e complexidade nos clientes. Funcionalidades comuns, como logon, agregação de dados e visualização, estão concentradas, num local a partir de onde podem ser geridas, no servidor do XHQ.

Os clientes XHQ são servidos por um mecanismo automático de publicação e de subscrição que reduz bastante a carga da rede. O servidor combina com eficiência os pedidos de dados dos clientes e completa os mesmos através de pipelines otimizados para os vários sistemas de *back-end*. Como resultado, o XHQ reduz a carga nos servidores de *back-end*. É possível controlar e ajustar a extração de dados, designando e qualificando as *queries* a um determinado sistema e ajustando a frequência dos pedidos para garantir o funcionamento adequado da rede e dos sistemas de *back-end*. Ter um local central para administrar e controlar a largura de banda dos pedidos de acesso é extremamente importante para garantir que são evitados *bottlenecks*.

Plataforma XHQ: XHQ Solution Server

Requisitos do Sistema para XHQ Solution Server

Requisito	Mínimo	Recomendado
Sistema Operativo	Windows® Server 2012 R2 ou Windows® Server 2008 R2 SP1 Nota: Windows Server 2008 R2 SP1 é suportado com uma limitação – não é possível usar o visualizador baseado em HTML5. Esta funcionalidade requer Windows Server 2012 R2, ou superior.	Windows® Server 2012 R2 Windows® Server 2016
Processador (CPU)	Um ou dois processadores de classe Xeon, com 6 ou mais cores cada	Dois processadores de classe Xeon, com 12 ou mais cores cada
Memória (RAM)	16 GB -32 GB (Regra de polegar: mínimo de 4 GB de memória por cada core do(s) CPU(s).) Nota: São necessários dezasseis (16) GB de RAM como mínimo para soluções pequenas. São necessários trinta e dois (32) GB se os Reporting Services estiverem em uso no Solution Platform Server. A instalação do Web Application Server no Solution Platform Server (em vez de num servidor separado) só é suportada se recursos adequados de memória e de CPU estiverem disponíveis. Como mínimo, 4 GB de memória e dois cores do CPU são necessários para esta funcionalidade, em cima dos requisitos-base do XHQ. A arquitetura específica de cada solução define a memória mínima necessária. Os valores acima são guias. Para uso em sistemas produtivos, é altamente recomendado ter mais de 32 GB de modo a poder tirar partido da arquitetura de 64 bits do XHQ.	32 GB - 128 GB (Regra de polegar: mínimo de 4 GB de memória por cada core dos CPUs.) Nota: São necessários trinta e dois (32) GB de RAM como mínimo para soluções grandes, ou, idealmente, 64 GB se os Reporting Services estiverem em uso no Solution Platform Server. A instalação do Web Application Server no Solution Platform Server (em vez de num servidor separado) só é suportada se recursos adequados de memória e de CPU estiverem disponíveis. Como mínimo, 4 GB de memória e dois cores do CPU são necessários para esta funcionalidade, em cima dos requisitos-base do XHQ. A arquitetura específica de cada solução define a memória mínima necessária. Os valores acima são guias. Para uso em sistemas produtivos, é altamente recomendado ter mais de 32 GB de modo a poder tirar partido da arquitetura de 64 bits do XHQ.
Rede	Interface LAN 100 Mbit	Interface LAN 1 Gbit

Requisito	Mínimo	Recomendado
Espaço em Disco*	100 GB de espaço livre para os dados da aplicação, incluindo a Cache HighPerformance Database do XHQ. 60 GB de espaço livre adicional é necessário se os Reporting Services do XHQ forem usados.	
	Nota: Espaço em disco adicional será necessário para a solução XHQ, bem como para dados guardados no data recorder (por exemplo, devido ao Performance Management) e espaço livre em disco é necessário para uso temporário pela base de dados incorporada. Um mínimo de 100 GB de espaço livre em disco é recomendado, mas as necessidades exatas dependem da solução desenvolvida.	
	É necessário um mínimo de 10 GB de espaço livre na drive de sistema que contém a diretoria de sistema "temp" (tipicamente, a drive C:), mesmo que parte dos subsistemas do XHQ sejam instalados numa drive diferente (como a drive D:).	
	O espaço em disco deve ser configurado de modo a que o XHQ não fique sem espaço em operação normal, dado que isto pode resultar em transações incompletas com as bases de dados e levar a inconsistências ou à corrupção dos ficheiros, requerendo o restauro da plataforma a partir de um backup.	

* Os requisitos Mínimo e Recomendado são iguais.

Plataforma XHQ: XHQ Development Client

Requisitos do Sistema para XHQ Development Client

Requisito	Mínimo	Recomendado
Sistema Operativo	Windows 10 (Professional, Enterprise; 64-bit) Windows 8.1 (Professional; 64-bit) Windows 7 (Professional, Ultimate; 64-bit)	Windows 10 (Professional, 64-bit)
Processador (CPU)	Processador 2 GHz (hyper-threading)	Processador 3+ GHz (quad-core)
Memória (RAM)	8 GB	16 GB
JRE*	64-bit JRE 162 (recomendado)/161/152/151/144 (mínimo)	
Resolução de Ecrã	Display 1024 x 768 SVGA	Display 1920 x 1080 full HD
Espaço Em Disco*	200 MB de espaço livre em disco	

* Os requisitos Mínimo e Recomendado são iguais.

Plataforma XHQ: XHQ Solution Viewer

HTML5-BASED XHQ SOLUTION VIEWER

Requisitos do Sistema para HTML5-based XHQ Solution Viewer

Requisito	Android	iOS
Sistema Operativo Móvel	Android 7.x (ou superior)	Apple iOS versões 11.0.3+
Browser	Google Chrome versão 64 (ou superior)	Safari na versão do iOS suportado

JAVA-BASED XHQ SOLUTION VIEWER

Requisitos do Sistema para XHQ Solution Viewer (Browser Client)

Requisito	Mínimo	Recomendado
Sistema Operativo*	Windows 10 (Professional, Enterprise; 32- ou 64-bit) Windows 8.1 (Professional; 32- ou 64-bit) Windows 7 (Professional, Ultimate; 32- ou 64-bit)	
Processador (CPU)	Processador 2 GHz (hyper-threading)	Processador 3+ GHz (quad-core)
Memória (RAM)	8 GB	16 GB
JRE*	Para Windows e Mac OS Oracle JRE 162 (recomendado)/161/152/151/144 (mínimo)**	
Browser	Para <u>Windows</u> : Microsoft Internet Explorer 11 Para <u>Mac OS</u> : Safari 11.x Nota: Ver o tópico, <i>XHQ Requirements for Safari</i> , para mais informação.	Para <u>Windows</u> : Microsoft Internet Explorer 11 Para <u>Mac OS</u> : Safari 11.x Nota: Ver o tópico, <i>XHQ Requirements for Safari</i> , para mais informação.
Resolução de Ecrã	Display 1024 x 768 SVGA	Display 1920 x 1080 full HD
Espaço Em Disco*	200 MB de espaço livre em disco	

* Os requisitos Mínimo e Recomendado são iguais.

** Se for pretendido usar uma versão do JRE mais recente que as suportadas na documentação do XHQ, confirmar primeiro com a equipa de suporte técnico do XHQ antes de a implementar. Será necessário validar se a versão mais recente do JRE já é suportada ou se está planeado que venha a ser suportada.

Sistemas de avaliação de desempenho

Para o apoio à gestão torna-se necessário transformar os inúmeros dados de monitorização e previsão em informação útil para os utilizadores, utilizando para esse efeito a avaliação de desempenho.

O sistema de avaliação de desempenho a desenvolver será orientado por objetivos, tendo em conta o cumprimento das normas e da legislação em vigor, nomeadamente das diretivas relativas às inundações (2007/60/CE), à gestão das águas balneares (2006/7/CE) e à eficiência energética (2012/27/EU). Terá ainda em consideração o Plano Estratégico para o Setor de Abastecimento de Água e Saneamento (PENSAAR 2020 e o futuro PENSSAR 2030), bem como os sistemas de indicadores da ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, e da IWA – International Water Association (Matos et al. 2003).

No que respeita às inundações, a Diretiva 2007/60/CE estabelece a elaboração de planos de gestão dos riscos de inundações, que abrangem “todos os aspetos da gestão dos riscos [...] centrando-se na prevenção, proteção e preparação, incluindo sistemas de previsão e de alerta precoce” e “concentrando esforços na redução das potenciais consequências prejudiciais das inundações para a saúde humana, o ambiente, o património cultural e as atividades económicas”. Em conformidade, no SINERGEA a avaliação de desempenho das medidas para prevenção da inundação será associada à análise do risco, i.e., à combinação da probabilidade do perigo de inundação com as suas potenciais consequências prejudiciais na comunidade.

Quando um evento perigoso ocorre, as consequências dependem da suscetibilidade à degradação ou dano dos elementos em risco expostos a esse perigo. Nos últimos anos, têm sido desenvolvidos conjuntos de indicadores de vulnerabilidade à inundação, relativos a várias funções compartilhadas por sistemas urbanos (e.g., Barroca et al., 2006; Tavares et al., 2015). Estes indicadores poderão ser selecionados ou adaptados a cada caso particular, em função do tipo de ocupação e da informação disponível para a sua quantificação. No SINERGEA serão combinados indicadores relacionados com a altura, velocidade e duração da inundação distribuídos espacialmente e calculados pelos modelos, com indicadores de vulnerabilidade igualmente distribuídos espacialmente. O sistema deverá ser suficientemente genérico para permitir ao utilizador a implementação dos indicadores de vulnerabilidade à inundação mais adequados ao seu caso.

A qualidade das águas balneares é tipicamente avaliada utilizando indicadores baseados em variáveis microbiológicas (Thoe et al., 2012; Aragonés et al., 2016), dado que garantir a boa qualidade microbiológica destas áreas é um aspeto de particular relevância para a saúde pública e para a preservação e melhoria do ambiente. A definição dos indicadores de qualidade das águas balneares no SINERGEA fundamentar-se-á na legislação nacional e Europeia em vigor, incluindo a Diretiva das Águas Balneares (Diretiva 2006/7/CE, de 15 de fevereiro) e sua transposição nacional, e em critérios e boas-práticas nacionais (e.g. Programa Bandeira Azul) e internacionais (e.g. WHO, 2003). Serão utilizados critérios relacionados com a concentração de variáveis indicadores da qualidade microbiológica, em particular a *E. coli* e os enterococos intestinais por serem as variáveis consideradas na legislação nacional e europeia. Complementarmente serão também considerados indicadores relativos à área afetada por cada

evento de contaminação e o período do ano e a duração de cada evento. O cálculo dos indicadores da qualidade das águas balneares será realizado com base nos resultados do sistema integrado de previsão para a zona costeira.

A Diretiva 2012/27/EU relativa à eficiência energética é uma importante referência para a definição das metas nacionais relativas à eficiência energética, não impondo, contudo, a alocação de metas para os vários setores económicos. Em Portugal, atualmente esta questão é traduzida para os serviços de águas em duas medidas do PENSAAR 2020, designadamente a “M4.2.2 Otimização dos consumos energéticos nos sistemas” e a “M.3.5.6 Promoção do aproveitamento da capacidade de produção de energia nos sistemas”. Estas medidas visam reduzir consumos externos, custos, tarifas e emissões de gases com efeito de estufa. O sistema de avaliação da ERSAR inclui um indicador de desempenho energético relativo à eficiência das EE. No que respeita às ETAR, serão tidos em consideração os indicadores de desempenho energético e respetivos valores de referência definidos por Silva & Rosa (2015) e publicações subsequentes.

O sistema de indicadores para avaliação do desempenho será constituído por: n Objetivos; um conjunto de indicadores para cada objetivo; valores de referência e metas para cada indicador; sistema de ponderação de cada indicador para uma avaliação global por vertente (energia, inundações urbanas e zonas balneares); sistema de ponderação para uma avaliação global.

O sistema de indicadores proposto no SINERGEA será integrado na plataforma XHQ.

Sistema de avaliação integrado energia - inundações urbanas - zonas balneares

A integração do desempenho energético do sistema de drenagem e das ETAR num sistema de apoio à gestão de emergências de contaminação de águas balneares e de inundação constitui uma importante inovação do SINERGEA.

Por outro lado, o envelhecimento dos sistemas obriga a reabilitações de infraestruturas e equipamentos faseados no tempo, mas que são frequentemente feitas de forma não coordenada e não integrando a ETAR. Estas intervenções pouco planeadas levam a consumos energéticos e descargas para os meios aquáticos muito acima daqueles que seria possível obter através de uma análise heurística do sistema como um todo. Acresce que a afluência às ETAR de águas pluviais e salobras costeiras também compromete a eficácia e fiabilidade do tratamento e agrava significativamente a eficiência energética das EE e ETAR (Silva e Rosa, 2015).

Todos estes aspetos serão integrados no sistema de avaliação de desempenho do SINERGEA, que tirará partido da atividade desenvolvida nas várias vertentes (energia - inundações urbanas - zonas balneares) para criar uma estrutura inovadora de apoio à decisão simples e intuitiva que permita pesar as vantagens e as consequências de cada escolha dos decisores e gerir conflitos de interesse de cada um. Seguindo a abordagem proposta no projeto AC:T – Método para integração da adaptação às Alterações Climáticas no Setor do Turismo, liderado pelo LNEC (Pinto et al., 2016), será mapeado o desempenho de cada cenário e alternativa de operação e das previsões de operação do sistema, ao longo dos três pilares do SINERGEA – consumo de energia, inundação urbana e qualidade balnear. A utilização da mesma escala de desempenho é crucial quando se pretende integrar várias componentes para apoio à tomada de decisão na gestão dos

sistemas (e.g. qualidade da água costeira, inundações e consumo de energia). Cada solução ou cenário poderá assim ser comparada em cada uma das três vertentes ou no desempenho global.

Sistema de apoio à decisão em tempo real

O sistema de apoio à decisão em tempo real surge aqui como um subproduto de software que deverá ser integrado no XHQ SINERGEA de forma a que sejam feitas diversas análises para ajudar na tomada de decisão.

Um sistema de apoio à decisão (SAD) é definido com um programa que permite fornecer aos utilizadores um conjunto de lembretes, conselhos ou interpretações dos dados, ou agregações destes dados.

No contexto do SINERGEA, os dados agregados, para a análise de informação e respetiva sugestão de operações, referem-se às diferentes condições ambientais, aos múltiplos cenários de alterações climáticas, bem como do consumo de energia, inundação urbana e qualidade balnear e às várias alternativas de operações. A estes dados juntam-se ainda os provenientes de diversas fontes de informação disponíveis, tais como os sensores da plataforma de monitorização e de previsão em tempo real e ainda os resultados dos sistemas de avaliação.

Após a definição de cada fonte de informação para análise no SAD do SINERGEA, é necessário modelar e agregar estes conjuntos num repositório de bases de dados (PostgreSQL) e serviços de dados (REST e JSON). É pretendido que se extraia conhecimento de um grande volume de dados e dessa forma, é necessário organizar eficazmente as diversas fontes para que o processo seja possível de executar em tempo real.

A organização dos dados irá ser feita após a recolha dos produtos de provenientes dos requisitos deste sistema, identificados acima, e a respetiva descrição através de um modelo de dados. As diversas alternativas de operações, identificadas como objetivo do SAD, serão associadas a vários comportamentos através de um conjunto de modelos de previsão ou de extração de conhecimento.

O objetivo dos modelos de extração de conhecimento irá passar pela representação do conhecimento técnico dos sistemas aqui envolvidos, bem como da incerteza inerente aos cenários e dados agregados; pela previsão de operações através de estimadores, regressões ou outros mecanismos de aprendizagem automática, como por exemplo, redes neuronais, árvores de decisão, etc.; pelo agrupamento dos dados de forma a detetar padrões de interesse; e por fim uma pesquisa da solução ou soluções para o problema em questão, que aqui será um conjunto de operações associadas à resolução no contexto identificado. Estes modelos de extração serão desenvolvidos em Python, com base nas bibliotecas Scikit e TensorFlow.

O SAD irá ser integrado no XHQ SINERGEA, permitindo acionar intervenções e registar o historial das decisões de gestão potenciando-se como um conjunto de informação tecnológica que permite a tomada de decisões e otimização do desempenho de todo o processo e atividade, obtida através do cálculo em tempo real de métricas definidas como críticas pela entidade gestora.

A natureza multifuncional integrada do XHQ é adequada para juntar as informações sobre a produção, o custo de energia e todos os aspetos da sua utilização num só local, permitindo ajudar a gerir o orçamento energético com mais eficiência.

O pacote “XHQ Energy Management” fornece uma maneira de implementar rapidamente um programa de monitorização e consciencialização que pode operar a partir do nível duma única unidade produtiva ou incluir uma organização inteira.

Este pacote poderá conter:

- Um dashboard para operação da instalação, mostrando o uso de energia e a produção, podendo a instalação ser analisada por linha de produção e por tipo de energia;
- Resumo da geração de energia, quando aplicável;
- Resumo do consumo de energia;
- KPIs detalhados para ativos de geração de energia, quando aplicável;
- Relatórios de produção e uso de energia.

Desde que a instalação monitorizada tenha o equipamento adequado, e o XHQ tenha acesso à informação relevante, é possível:

- Minimizar o uso de energia de acordo com as metas definidas, através de um programa de monitorização que identifique ineficiências e períodos de operação desperdiçada;
- Obter informações atualizadas sobre o uso de energia em cada instalação e cada área;
- Ficar por dentro das alterações associadas a mudanças de fornecedor ou dos custos de energia;
- Otimizar o consumo e a geração de energia (quando aplicável), monitorizando a disponibilidade e a procura, mantendo a conformidade ambiental;
- Uma economia significativa de custos ao comparar a auto-geração com a compra de energia da rede (quando aplicável);
- Otimizar a geração de energia para atender à procura operacional (quando aplicável);
- Verificar a conformidade das emissões (impostos sobre o carbono, padrões ambientais, quando aplicável).

Para além do pacote standard, o XHQ poderá conter vários módulos opcionais. A título de exemplo, o módulo opcional “Performance Analytics” (não incluído) é útil para suportar análises em detalhe a conjuntos de dados complexos. Por exemplo, se for pretendido criar relatórios especializados a partir de vários sistemas e fontes de dados heterogêneas é possível usar funções-padrão do XHQ para fazer as ligações às fontes de dados e usar o “Performance Analytics” para obter dados selecionados de entre os vários sistemas e juntá-los num único conjunto de dados consolidado, limpando e normalizando os dados no processo.

O objetivo deste módulo é disponibilizar previsões interessantes para o utilizador final, usando *machine learning* com o apoio de especialistas. *Machine learning* é uma disciplina para lidar com problemas em que estas três coisas se aplicam: existe um padrão, não podemos descrevê-lo com exatidão matematicamente, mas temos dados sobre isso. A essência do *machine learning* é desenvolver (treinar) um algoritmo para se ajustar a um conjunto de dados e usar esse algoritmo para criar previsões a partir de outros dados.

Para aplicar *machine learning*, é necessário desenvolver algoritmos capazes de fazer previsões. Isto significa que é necessário um ambiente de desenvolvimento offline e um ambiente produtivo online para executar os algoritmos. É também necessária uma forma de visualizar os resultados.

Esta abordagem usa o módulo “Performance Analytics” do XHQ para reunir, organizar, estruturar e armazenar dados.

O módulo “Performance Analytics” foi pensado para fazer o seguinte:

- Extrair, calcular, transformar e guardar dados do XHQ em novos conjuntos de dados;
- Executar cálculos sofisticados e operações de limpeza de dados;
- Consolidar dados de vários sistemas XHQ num único conjunto de dados;
- Lidar com grandes conjuntos de dados e armazenamento de longo prazo;
- Correr trabalhos.

R, Python e outras ferramentas de dados científicos comuns podem ser usadas para escrever os algoritmos, enquanto que técnicas-padrão do XHQ são usadas para ler os resultados a partir de um servidor SQL. Do ponto de vista do XHQ e dos utilizadores do XHQ, o “Performance Analytics” é apenas mais uma fonte de dados.

Para utilizar o “Performance Analytics”, um ou mais servidores XHQ são instalados em servidores Windows dedicados, como de costume. Esses servidores podem estar nas instalações ou na Cloud. O XHQ é configurado com os conectores, modelos e sinópticos, como habitualmente. O “Performance Analytics” é instalado num servidor Windows próprio, juntamente com o Microsoft SQL Server e com o pacote SQL Server Integration Services (SSIS) da Microsoft.

O “Performance Analytics” é configurado para extrair dados do XHQ através de pedidos à API do XHQ, transformá-los e carregar os dados resultantes no SQL Server. Este processo de extração é agendado, talvez como uma periodicidade horária.

Os algoritmos são desenvolvidos offline em R ou Python por especialistas. Depois de encaminhados para o servidor do “Performance Analytics” são encapsulados num SQL Server *stored procedure*. Dependendo do algoritmo, o “Performance Analytics” pode agendar tarefas que executam algoritmos e escrevem resultados no SQL Server ou expor *stored procedures* que retornam um conjunto de dados de resultados.

De um modo geral, a base de dados do SQL Server deve ser desenhada para armazenar todos os dados de entrada (recolhidos pelo “Performance Analytics”) e todos os resultados das análises (dos algoritmos). O XHQ usa o seu conector-padrão para obter dados de tabelas do SQL Server ou executa os *stored procedures* quando necessário.

Requisitos do caso de estudo

Plataforma de monitorização

Esta plataforma deverá incluir toda a informação disponível para suporte ao sistema de interface XHQ, necessária à calibração e validação dos modelos e à extrapolação dos forçamentos para as simulações de previsão em tempo real, assim como ao conjunto de dados *on-line* que permitirão aferir em contínuo as previsões e suportar o sistema de alerta, em articulação com as previsões em tempo real.

Listam-se nas Tabelas 6 e 7 as fontes de informação previamente identificadas e a sua origem, assim como os usos pretendidos para elas.

Tabela 6. Fontes de dados

Fontes de Informação	Local/ coordenadas	Dados	Consumidores	Entidade fornecedora	Acesso
AdA	algumas EE e nas ETAR	Caudais e consumos de energia	Modelos, XHQ	AdA	Privado
CMAIb	algumas EE	Caudais e consumos de energia	Modelos, XHQ	CMAIb	Privado
jornais	Baixa de Alfueira	Fotografias e descrições de alturas de inundação	Modelos (são para calibra�o)	Internet e jornais	Público e Privado
IPMA	Vários locais, várias datas	Precipita�o,	Modelos (são para calibra�o)	IPMA	Privado (a adquirir)
SNIRH	01/10/2008: ALGOZ (31H/02C), LOULÉ (31I/01UG), SALIR (30I/03UG), SANTA MARGARIDA (30H/04UG), SOBREIRA (30I/02UG), SÃO BARNABÉ (29I/01UG), SÃO BARTOLOMEU DE MESSINES (30H/03UG) 1/11/2015: ALGOZ (31H/02C), BARRAGEM DO ARADE (30G/03C), PADERNE (30H/05UG)	Precipita�o	Modelos (são para calibra�o)	APA	Público
SNIRH	Praia dos Pescadores. LAT: 37.0864 LONG: -8.24907	Enterococos Intestinais <i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml): Mensal entre Maio e Setembro 26/05/2008 – 16/9/2008 N= 6 Semanal entre Maio e Setembro 4/5/2009 – 6/10/2009 N= 12	Modelos, XHQ	SNIRH	Público

SNIRH	Praia do Inatel (PTCV7T) LAT: 37.08548 LONG: -8.24303	Enterococos Intestinais <i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml): Semanal entre Maio e Setembro ou Outubro 20/05/2008 – 12/10/2009 N= 43	Modelos, XHQ	SNIRH	Público
SNIRH	Praia dos Alemães (PTCU2T) LAT: 37.08398 LONG: -8.23791	Enterococos Intestinais <i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml): Semanal entre Maio e Setembro ou Outubro 20/05/2008 – 12/10/2009 N= 43 (MPN/100 ml): Semanal entre Maio e Setembro ou Outubro. 4/05/2000 – 7/10/2019 N= 49	Modelos, XHQ	SNIRH	Público
UAIG Master Thesis 2017	Pluma dos três emissários submarinos localizados na Baía de Albufeira	Enterococos Intestinais (MPN/100 ml) <i>Escherichia coli</i> (MPN/100 ml) 27 Jul 2015 24 Aug 2015 22 Aug 2016	Modelos, XHQ	UAIG	Público
APA- ARH Algarve	Ribeira de Albufeira LAT: 37.095079 LONG: -8.254729	Azoto Amoniacal CBO Cianeto Total COD Condutividade - Cor COT CQO Nitrato Nitrito Oxidabilidade Oxigénio Dissolvido (% saturação e mg/l) pH Sólidos Suspensos Totais Temperatura da amostra 27/02/2020 11:05	Modelos, XHQ	APA- ARH Algarve	Publico
APA- ARH Algarve	Ribeira de Espiche LAT: 37.10236 LONG: -8.327489	2,4-D 4-Nonilfenol 4-Octilfenol Alacloro Alcalinidade Total Antraceno Arsénio dissolvido Atrazina Azoto Amoniacal Azoto Total	Modelos, XHQ	APA- ARH Algarve	Publico

		<p> Bentazona Benzeno Benzo(a)pireno Cádmio dissolvido Chumbo dissolvido Cianeto Total Clorfenvinfos (E+Z) Clorpirifos Clortolurão Cobre dissolvido COD Condutividade Cor COT CQO Crómio dissolvido DEHP Desetilatrazina Desetilsimazina Desetilterbutilazina Diclorometano Dimetoato Diurão Dureza Total Etilbenzeno Fluoranteno Fosfato Fósforo Total Imidaclopride Isoproturão Linurão MCPP (Mecoprope) Metalaxil Metolacloro Naftaleno Níquel dissolvido Nitrato Nitrito Ometoato Oxidabilidade Oxigénio Dissolvido (% saturação e mg/l O2) pH Simazina Sódio dissolvido Sólidos Suspensos Totais Tebuconazol Terbutilazina Terbutrina Tetracloroeteno Tetraclorometano (Tetracloroeto de Carbono) Tolueno Tributilfosfato Tricloroeteno Triclorometano (Clorofórmio) Xilenos Zinco dissolvido </p>			
		21/11/2019 12:15:00			

		Alcalinidade Total Azoto Total CBO Cianeto Total COD Condutividade Cor COT Nitrato Nitrito Oxidabilidade Oxigénio Dissolvido (% saturação e mg/l) pH Sólidos Suspensos Totais Temperatura da amostra 27/02/2020 12:00:00			
APA-ARH Algarve	Praias do Concelho de Albufeira (Relatório Ocorrências de incumprimento das águas balneares do concelho de Albufeira no âmbito da Diretiva das Águas Balneares, desde 2001) + dados 2016 a 2019	Parâmetros microbiológicos (Enterococos Intestinais e <i>Escherichia coli</i>) Com identificação da causa/origem da ocorrência		APA- ARH Algarve	?
APA- ARH Algarve	Zona costeira monitorizada pela APA, mais próxima de Albufeira Vilamoura - Água Costeira LAT:37.07188 LONG:-8.11896	Oxigénio Dissolvido (% saturação e mg/L) pH Salinidade Temperatura da amostra 30/05/2019 11:00 18/09/2019 12:35 06/12/2019 12:05	Modelos, XHQ	APA- ARH Algarve	Publico

Tabela 7. Fontes de previsões de modelos em tempo real

Fontes de Informação	Modelo/Área/Resolução	Resultados	Consumidores	Entidade fornecedora	Acesso
CMEMS	IBI/Iberian-Biscay-Irish Seas/1:36º Global/1:12º	Níveis, Velocidade, Temperatura, Salinidade	Modelos	CMEMS	Público
LNEC	WAVEWATCH-III/Atlântico Norte/variável	Espectros	Modelos	LNEC	Privado
NOAA/NCEP	GFS/Modelo global/0.25º	Direção e intensidade do vento, Temperatura do ar, Pressão atmosférica, Humidade específica, Radiação solar à superfície, Radiação de	Modelos	NOAA	Público

		longo comprimento de onda à superfície			
Météo France	ARPEGE/Europa/0.1º	Direção e intensidade do vento, Temperatura do ar, Pressão atmosférica, Humidade específica	Modelos	Météo France	Privado

Base de dados de cenários e de alternativas de intervenção

A análise de cenários pretende simular um conjunto alargado de condições que incluam a variação dos parâmetros ambientais assim como as diferentes opções de operação nas várias infraestruturas envolvidas. Dado que a capacidade de antecipar eventos é frequentemente limitada pelo tempo computacional necessário para a previsão de elevada precisão, a disponibilidade de uma análise de cenários abrangente que inclua, quer as condições atuais e cenários de alterações climáticas, quer alternativas de gestão e de operação, é necessária para o suporte atempado à emergência em ambientes de elevada complexidade. Pretende-se assim desenvolver uma metodologia de previsão que integre numa primeira fase a estimativa da previsão através da procura das condições mais próximas das atuais sobre a base de dados de cenários, seguida da modelação de elevada precisão.

Do ponto de vista da energia, esta base de dados permitirá explorar as oportunidades de aumento da eficiência energética através da utilização de diferentes cenários de funcionamento da rede de drenagem como um todo (coletores, sequência de EE e ETAR), incluindo a gestão de afluências pluviais e de infiltração a montante.

Resumem-se nas tabelas seguintes as várias condições e alternativas de gestão que se planeiam explorar no projeto. Para diferentes valores de cada parâmetro destas tabelas serão executadas simulações da totalidade da gama de variação dos restantes parâmetros.

Tabela 8. Parâmetros ambientais a integrar na base de dados de cenários

Parâmetros	Valor mínimo	Valor máximo	Notas
Precipitação	A definir	A definir	
Direção e intensidade do vento	A definir	A definir	
Magnitude e direção da agitação marítima incidente	A definir	A definir	
Temperatura do ar	A definir	A definir	
Radiação solar	A definir	A definir	
Temperatura da água (oceano)	A definir	A definir	
Amplitude de maré	A definir	A definir	
Caudal na rede de drenagem	A definir	A definir	
Concentração de <i>E. coli</i> e enterococos intestinais nas ETAR	A definir	A definir	
Concentração de <i>E. coli</i> e enterococos intestinais nas águas balneares	A definir	A definir	

Tabela 9. Alternativas de gestão a integrar na base de dados de cenários

Alternativa	Vertentes que beneficiam	Notas/ observações
Utilização de LIDS (e.g., bacias de retenção e de infiltração, valas com revestimento vegetal, trincheiras de infiltração, pavimentos porosos, bioretenção, telhados verdes)	Inundações+qualidade balnear+energia	
Túneis a construir e outras medidas previstas no plano de drenagem	Inundações+qualidade balnear+energia	
Controlo em tempo real de LID, coletores, descargas, ETAR	Inundações+qualidade balnear+energia	Necessidade de regras if-then-else e ponderação dos efeitos em Inundações+qualidade balnear+energia
Medidas de prevenção e mitigação de inundações (e.g., barreiras nas portas, alterações de uso, deslocalização de serviços críticos,...)	Inundações	
Interdições temporárias do uso balnear de praias	Qualidade balnear	
Utilização de fontes de energia renováveis (e.g., eólicas, fotovoltaicas, biogás)	Energia	
Mudança de tarifários e reprogramação/otimização das EE	Energia	
Reabilitação/substituição de infraestruturas e equipamentos	Inundações+qualidade balnear+energia	

Sistema de modelação integrada para Albufeira e zona costeira adjacente

Caracterização geral do sistema de drenagem

O concelho de Albufeira abrange cerca de 140 km² e estende-se por um conjunto de 10 bacias hidrográficas que, na sua totalidade, cobrem 695 km². Destas destacam-se a bacia hidrográfica

da ribeira de Albufeira (Bacia B), totalmente incluída no concelho, e a do Inatel (Bacia C), dado o maior impacto em termos de inundações urbanas na cidade de Albufeira.

A maioria dos sistemas de drenagem pluvial existentes no concelho de Albufeira são constituídos por coletores que encaminham as escorrências para as linhas de água mais próximas e nalguns casos diretamente para a praia. As áreas mais urbanizadas concentram-se principalmente nas zonas costeiras. Nessas zonas a percentagem de áreas impermeáveis é muito elevada e, por isso, as redes de drenagem são mais densas. É também nestas zonas que desaguam as principais linhas de água, existindo vários dispositivos de descarga na zona das praias. Algumas das ribeiras apresentam troços canalizados no atravessamento das urbanizações, e.g. ribeira de Albufeira, com troços canalizados na zona de Ferreiras, na zona comercial de Vale do Paraíso e na cidade de Albufeira.

A rede de drenagem existente possui uma extensão de cerca de 193 km e apresenta coletores com diâmetros entre os 200 e 1800 mm. As principais infraestruturas de drenagem pluvial na bacia da ribeira de Albufeira incluem, essencialmente, o troço canalizado da ribeira de Albufeira através do túnel de drenagem, bem como o Caneiro implantado na zona baixa da cidade de Albufeira. O túnel de drenagem desenvolve-se ao longo da Av. da Liberdade, desde o parque de campismo até à Praia dos Pescadores. O túnel apresenta uma secção inicial de 3,00 x 2,50 m, ao longo de cerca de 600 m, após os quais passa a canal regularizado com colchões tipo Reno, de secção trapezoidal, numa extensão de 200 m, voltando a ser coletor fechado até à praia. Na secção a jusante, já na praia, encontra-se um emissário submarino com 1000 mm de diâmetro que foi dimensionado para drenar os caudais afluentes de tempo seco.

O Caneiro tem início no Largo Eng. Duarte Pacheco e desenvolve-se ao longo da Av. 25 de Abril até à Praça dos Pescadores, recebendo os caudais de uma bacia de drenagem urbana de cerca de 40 ha. No troço final, o Caneiro apresenta um pontão de leito móvel com aproximadamente 4,0 m de largura, que se encontra frequentemente assoreado, sendo a descarga do Caneiro no oceano bastante influenciada pelos níveis de maré e pela acumulação de areias no troço final.

Identificam-se os seguintes principais locais de descarga de águas pluviais (DP) para praias ou outros locais de águas balneares: DP1 - Túnel do Peneco; DP2 - Estacada cais Praia dos Pescadores; DP3 - Inatel; DP4 - Forte de São João; DP5 - Praia da Oura; DP6 - Praia de Sta Eulália; DP7 - Praia Maria Luísa; DP8 - Praia dos olhos de Água; DP9 - Praia do Barranco das Belharucas; DP10 - Maria de Albufeira; DP11 - Praia dos Arrifes; DP12 - Praia de São Rafael; DP13 - Praia da Coelha; DP14 - Praia do Manuel Lourenço; DP15 - Praia da Galé; DP16 - Praia dos Salgados.

A rede de drenagem de águas residuais domésticas concentra-se nas zonas urbanizadas, que se localizam principalmente junto à costa, e apresenta uma extensão total superior a 100 km. Neste concelho existem cinco sistemas independentes de drenagem doméstica, cada um com uma ETAR. O sistema de drenagem em baixa é gerido pela Câmara Municipal de Albufeira (CMAIb) e o sistema interceptor e de tratamento é gerido pela Águas do Algarve (AdA). No âmbito do projeto SINERGEA serão avaliados os sistemas interceptores e de tratamento da ETAR de Vale do Faro e da ETAR de Ferreiras, que compreendem 10 estações elevatórias e servem vários aglomerados urbano-turísticos, desde Albufeira até aos Olhos de Água. O sistema de drenagem de águas residuais gerido pela CMAIb também dispõe de várias estações elevatórias.

Modelo de drenagem 1D

A modelação 1D do sistema de drenagem será efetuada com o programa SWMM. O modelo do sistema em baixa será desenvolvido a partir de modelo construído em estudos anteriores, designadamente no âmbito do Plano Geral de Drenagem de Albufeira. Mediante a inexistência de um histórico de dados de monitorização associados ao sistema de drenagem, nomeadamente caudais e/ou alturas de escoamento, o modelo foi “calibrado” com base nos testemunhos referentes ao ocorrido nas inundações de 1 de novembro de 2015, entre outros.

No SINERGEA, o modelo existente será atualizado e recalibrado com base na informação disponibilizada. Os forçamentos de montante serão baseados nas previsões de precipitação disponíveis para o projeto e nas previsões de caudal provenientes do modelo de drenagem 2D, e será tido em conta o nível de maré a jusante.

O modelo do sistema interceptor será desenvolvido com base na informação fornecida pela AdA.

Na Tabela 10 apresenta-se uma síntese dos dados de inputs e de calibração/validação do modelo de drenagem. Na Tabela 11 listam-se os produtos deste modelo.

Tabela 10. Tabela resumo dos dados de inputs e de calibração do modelo de drenagem

Fontes de Informação	Localização	Dados	Uso	Entidade fornecedora	Acesso
Udómetros	Reservatório do Bemparece: -11474.58,-285823.49 Posto de Turismo Albufeira: -10896.758,-285591.887 Furo Quinta dos Alamos: 13994.7444,-282405.7485 Reservatório Cerro do Ouro: -7928.41601,-278849.62234	Precipitação	Forçamento do modelo	CMAIb	Privado
Udómetro	ETAR de Vale de Faro	Precipitação	Forçamento do modelo	AdA	Privado
Medidores de caudal	ETAR de Ferreiras	Caudal	Calibração/validação	AdA	Privado
Medidores de caudal	ETAR de Vale de Faro	Caudal	Calibração/validação	AdA	Privado
Medidores de nível e caudal ou ambos	Estação elevatória dos Pescadores	Nível e caudal	Calibração/validação	AdA	Privado
Medidores de nível ou caudal ou ambos	Estação elevatória do Inatel	Nível e caudal	Calibração/validação	AdA	Privado
Medidores de nível ou	Estação elevatória do Kiss	Nível e caudal	Calibração/validação	AdA	Privado

caudal ou ambos					
Medidores de nível ou caudal ou ambos	Estação elevatória do Forte de São João	Nível e caudal	Calibração/validação	AdA	Privado
Medidores de nível ou caudal ou ambos	Estação elevatória da Oura	Nível e caudal	Calibração/validação	AdA	Privado
Medidores de nível ou caudal ou ambos	Estação elevatória da Balaia	Nível e caudal	Calibração/validação	AdA	Privado
Medidores de nível ou caudal ou ambos	Estação elevatória do Jacarandá	Nível e caudal	Calibração/validação	AdA	Privado
Medidores de nível ou caudal ou ambos	Estação elevatória de Santa Eulália	Nível e caudal	Calibração/validação	AdA	Privado
Medidores de nível ou caudal ou ambos	Estação elevatória da Semina	Nível e caudal	Calibração/validação	AdA	Privado
Medidores de nível ou caudal ou ambos	Estação elevatória Olhos de Água Sul	Nível e caudal	Calibração/validação	AdA	Privado
Medidores de nível ou caudal ou ambos	Estação elevatória Inicial ETAR Vale Faro	Nível e caudal	Calibração/validação	AdA	Privado
Medidores de nível ou caudal ou ambos	Estação elevatória Centro de Saúde	Nível e caudal	Calibração/validação	AdA	Privado
Medidores de nível ou caudal ou ambos	Estações elevatórias	Nível e caudal	Calibração/validação	CMAIb	Privado
Medidores de nível ou caudal ou ambos	DP1 - Túnel do Peneco DP2 - Estacada cais Praia dos Pescadores DP3 - Túnel do Inatel (planeado) DP4 – coletor do Forte de São João (planeado)	Nível		CMAIb	Privado

Tabela 11. Tabela resumo dos produtos do modelo de drenagem

Resultados	Localização	Uso
Caudal afluente à ETAR de Ferreiras	ETAR de Ferreiras	Calibração do modelo e forçamento do modelo da ETAR
Caudal afluente à ETAR de Vale de Faro	ETAR de Ferreiras	Calibração do modelo e forçamento do modelo da ETAR
Caudais afluentes às EE	EE modeladas	Calibração do modelo e forçamento do modelo da energia
Caudais afluentes aos pontos de descarga para o mar	Pontos de descarga	Forçamento do modelo do estuário

Os resultados do modelo serão comparados com séries históricas de eventos de precipitação neste sistema, com base na rede de monitorização a instalar pela CMAIb a curto prazo.

Modelo de drenagem 2D

O modelo de bacia hidrográfica tem de cobrir o conjunto da bacia hidrográfica da Ribeira de Albufeira, para poder simular a captação de água que pode provocar inundações em Albufeira e tem de simular o escoamento na zona urbana de Albufeira para simular a interação com o sistema de drenagem da cidade. Na cidade a malha do modelo tem de ser suficientemente fina para descrever as ruas. Para satisfazer estes dois requisitos o modelo será implementado com duas malhas, uma para toda a bacia com um passo espacial da ordem da centena de metros e outra para a cidade com um passo espacial da ordem dos metros para a zona urbana sujeita a inundações.

O modelo global da bacia hidrográfica receberá resultados do modelo meteorológico e simulará os caudais no sistema de drenagem fluvial. Neste modelo, as zonas urbanas serão simuladas como zonas parcialmente impermeabilizadas que descarregam para a rede fluvial (ribeira e seus afluentes). Este modelo permitirá prever o caudal à entrada da cidade de Albufeira e fazer testes de sensibilidade desse caudal à fragmentação da zona impermeabilizada a montante da cidade.

O modelo de detalhe da zona de Albufeira receberá o caudal da ribeira como condição de fronteira de montante e o nível do mar como condição de fronteira de jusante e terá ligação bidirecional ao modelo SWMM da rede de drenagem. Este modelo permitirá simular o escoamento nas ruas devido à água proveniente da ribeira (captada a montante) e proveniente da chuva na área urbana e ainda proveniente do transbordo do sistema de drenagem urbana.

O modelo de drenagem 2D está interligado ao sistema de drenagem 1D, pelo que os dados de inputs e de calibração/validação do modelo de drenagem são idênticos, estando apresentados na Tabela 10 d. Os produtos deste modelo são, sobretudo, resultados de alturas de escoamento superficial e de eventuais áreas inundadas, em função dos diferentes eventos pluviométricos simulados.

Modelo de qualidade da água do sistema de drenagem

A modelação da qualidade da água será efetuada para os indicadores de contaminação fecal *E. coli* e enterococos intestinais. Nas áreas modeladas com o modelo MOHID Land acoplado ao

SWMM serão utilizadas concentrações médias por local, em função da ocupação e atividades no terreno. Em princípio deverá ser seguida a mesma metodologia nas áreas modeladas unicamente com o SWMM. Embora o SWMM permita a utilização de formulações mais complexas para a modelação da qualidade da água, estas são geralmente bastante difíceis de calibrar.

No entanto, pondera-se considerar gamas de concentrações de poluentes por tipo de ocupação e atividades no terreno. A concentração a utilizar em cada evento irá depender das condições antecedentes de precipitação e das características da precipitação desse evento. Eventos que ocorrem após um longo período de tempo seco terão concentrações médias dos poluentes mais elevadas. Analogamente, eventos que ocorrem após longos períodos de chuva forte terão menores valores de concentrações poluentes. Intensidades de precipitação muito elevadas também poderão originar maiores concentrações poluentes, por gerarem maiores tensões de arrastamento.

O modelo de qualidade da água no sistema de drenagem será calibrado com base nos resultados de campanhas de medição da qualidade da água para, desejavelmente, dois eventos de precipitação e um de tempo seco. Estas campanhas serão efetuadas, desejavelmente, em três pontos de descarga a selecionar.

A modelação da qualidade da água nas ETAR será efetuada de forma simplificada utilizando o SWMM. O modelo terá em conta a influência da precipitação na eficácia do tratamento e será calibrado com base na informação de monitorização da qualidade da água das ETAR fornecida pela AdA.

Na Tabela 12 apresenta-se uma síntese dos dados de inputs e de calibração/validação do modelo de qualidade da água do sistema de drenagem. Na Tabela 13 listam-se os produtos do modelo.

Tabela 12. Tabela resumo dos dados de inputs e de calibração do modelo de qualidade da água do sistema de drenagem

Fontes de Informação	Localização	Dados	Uso	Entidade fornecedora	Acesso
Registos de qualidade da água	ETAR de Ferreira	<i>E. coli</i> , enterococos, CBO5, CQO	Calibração/ validação	AdA	Privado
Registos de qualidade da água	ETAR de Vale de Faro	<i>E. coli</i> , enterococos, CBO5, CQO	Calibração/ validação	AdA	Privado
Registos de qualidade da água	Ribeira de Albufeira Lagoa dos Salgados	<i>E. coli</i> , enterococos, outros	Calibração/ validação	AdA/APA	Privado

Tabela 13. Tabela resumo dos produtos do modelo de qualidade da água do sistema de drenagem

Resultados	Localização	Uso
Concentrações de <i>E. coli</i> e enterococos intestinais afluentes à ETAR de Ferreiras	ETAR de Ferreiras	Calibração do modelo e forçamento do modelo da ETAR
Concentrações de <i>E. coli</i> e enterococos intestinais afluentes à ETAR de Vale de Faro	ETAR de Vale de Faro	Calibração do modelo e forçamento do modelo da ETAR
Concentrações de <i>E. coli</i> e enterococos intestinais afluentes aos pontos de descarga para o mar	Pontos de descarga	Forçamento do modelo do meio recetor

Modelo do meio recetor

As simulações serão realizadas com o modelo SCHISM tridimensional em modo baroclínico, abrangendo aproximadamente a zona oceânica adjacente ao concelho de Albufeira e concelhos limítrofes. A resolução da malha de cálculo horizontal será definida de forma a representar adequadamente o domínio. O mesmo critério será aplicado para a definição da malha vertical.

Nas simulações do meio recetor serão consideradas várias fronteiras abertas: i) a fronteira oceânica, a jusante, referente às condições na zona oceânica exterior (oceano Atlântico); ii) fronteiras relativas aos pontos de descarga do modelo de drenagem urbana (a definir). A fronteira oceânica será forçada por: i) maré, velocidade, temperatura e salinidade, com base nas previsões dos modelos do CMEMS (<http://marine.copernicus.eu>); ii) espectros de agitação marítima, calculados com uma aplicação do modelo WaveWatchIII ao Atlântico Norte; e iii) concentrações constantes de *E. coli* e enterococos intestinais. As fronteiras relativas às várias descargas urbanas serão forçadas com os resultados dos modelos de drenagem urbana relativos a caudais, temperatura e concentrações de *E. coli* e enterococos intestinais. Para as simulações do modelo do meio recetor será ainda considerada uma fronteira aberta à superfície que será forçada por vento, temperatura do ar, pressão atmosférica, humidade específica, radiação solar incidente e radiação de longo comprimento de onda incidente. As Tabelas 14 e 15 sumarizam os dados e os resultados do modelo do meio recetor.

Para a calibração e validação do modelo do meio recetor os resultados do modelo serão comparados com os dados disponíveis no SNIRH relativos à qualidade das águas balneares, e com dados obtidos em campanhas realizadas e a realizar no decurso do projeto na zona de estudo.

Tabela 14. Resumo dos dados de input e de calibração do modelo do meio recetor.

Fontes de Informação	Localização	Dados	Uso	Entidade fornecedora	Acesso
IBI-CMEMS	Fronteira oceânica	Níveis, Velocidades Temperatura, salinidade	Forçamento do modelo	CMEMS	Público
WAVEWATCH-III-LNEC	Fronteira oceânica	Espectros	Forçamento do modelo	LNEC	Privado
Sensor de níveis, LNEC	A definir	Níveis	Calibração/ Validação	LNEC	Privado
Rede de Qualidade Águas Balneares – SNIRH	Várias na zona costeira adjacente	Temperatura, <i>E. coli</i> , Enterococos intestinais	Calibração/ validação	APA/SNIRH	Público
Registos de qualidade da água	Marina de Albufeira	<i>E. coli</i> , enterococos, outros	Calibração/	Registos de qualidade da água	Marina de Albufeira
ERA5	Modelo global	Direção e intensidade do vento, Temperatura do ar, Pressão atmosférica, Temperatura do ponto de orvalho, Radiação solar à superfície, Radiação de longo comprimento de onda à superfície	Forçamento do modelo/ Calibração/ validação	ECMWF	Público
GFS-NOOA/NCEP	Modelo global	Direção e intensidade do vento, Temperatura do ar, Pressão atmosférica, Humidade específica, Radiação solar à superfície, Radiação de longo comprimento de onda à superfície	Forçamento do modelo/ Calibração/ validação	NOOA	Público
ARPEGE	Europa	Direção e intensidade do vento, Temperatura do ar, Pressão atmosférica, Humidade específica	Forçamento do modelo / Calibração/ validação	Météo France	Privado

Tabela 15. Tabela resumo dos produtos do modelo do meio recetor

Resultados	Localização	Uso
Nível	A definir	Validação do modelo / Alerta
Velocidade da Corrente	A definir	Validação do modelo / Alerta
Salinidade	A definir	Validação do modelo / Alerta
Temperatura	A definir	Validação do modelo / Alerta
<i>E. coli</i>	A definir	Validação do modelo / Alerta
Enterococos intestinais	A definir	Validação do modelo / Alerta

Modelo de energia

A modelação determinística da energia nas EE será efetuada com base na informação fornecida pela AdA e pela CMAlb acerca das instalações, equipamentos e acessórios das EE e condutas elevatórias.

O modelo será calibrado com base em campanhas de caracterização do consumo energético do maior número de EE que for possível monitorizar, face ao elevado número de EE existentes no sistema. O equipamento de monitorização será utilizado rotativamente pelas EE, por forma a aumentar o número de EE monitorizadas.

Desejavelmente, a calibração de cada EE deverá compreender a utilização de cada uma das bombas em funcionamento isolado e em simultâneo, para cobrir todo o espectro de utilização dos equipamentos. Atendendo aos reduzidos períodos de precipitação na região do Algarve, será de equacionar a reprogramação das bombas, se possível, para levar a um maior represamento da água em tempo seco e forçar as bombas a funcionarem em situações próximas das de condições chuvosas.

A avaliação dos consumos de energia, será realizada com modelo determinísticos, no qual são simulados os consumos de energia em cada período. Também se prevê incorporar modelos de fontes de energia renováveis existentes e para cenários futuros (e.g., eólicas, fotovoltaicas, biogás) para que a exploração da instalação possa ser otimizada.

Previamente à utilização do modelo integrado do consumo de energia, serão desenvolvidos módulos para entidades consumidoras e fornecedoras de energia no sistema, por exemplo EE, ETAR, FER. No caso de estudo será apenas efetuada a configuração desses modelos genéricos para os equipamentos e condições da instalação existentes ou a considerar em cenários. O modelo de simulação será validado por “componente” e como sistema tendo por base os dados das EG e resultantes das campanhas de monitorização.

As Tabelas 16 e 17 resumizam os dados e os resultados do modelo de energia.

Tabela 16. Resumo dos dados de input e de calibração do modelo de energia.

Fontes de Informação	Localização	Dados	Uso	Entidade fornecedora	Acesso
SWMM	Todas as Estações Elevatórias que forem modeladas	Caudais em intervalos de 5 minutos	Forçamento do modelo	LNEC e IST	Privado
Rede de monitorização da AdA	Todas as Estações Elevatórias que forem modeladas	Caudais, pressões e consumos de energia em intervalos de 5 a 15 minutos	Calibração / Validação	AdA	Privado
Rede de monitorização da CMAIb	Estações Elevatórias que forem modeladas	Caudais, pressões e consumos de energia em intervalos de 5 a 15 minutos	Calibração / Validação	CMAIb	Privado
Rede de monitorização da AdA	ETAR de Vale de Faro	Caudais e consumos de energia em intervalos de 5 a 15 minutos	Calibração / Validação de algoritmo para a ETAR	AdA	Privado
Rede de monitorização da AdA	ETAR de Ferreiras	Caudais e consumos de energia em intervalos de 5 a 15 minutos	Calibração / Validação de algoritmo para a ETAR	AdA	Privado
Rede de monitorização da AdA	ETAR de Vale de Faro	Precipitação	Forçamento do algoritmo para a ETAR + Calibração / Validação de algoritmo para a ETAR	AdA	Privado
Contrato(s) com a entidade fornecedora de energia	Todas as Estações Elevatórias que forem modeladas +ETAR	Tarifários de energia elétrica	Forçamento do modelo	AdA	Privado
Contrato(s) com a entidade fornecedora de energia	Estações Elevatórias modeladas	Tarifários de energia elétrica	Forçamento do modelo	CMAIb	Privado
ETAR de Vale Faro e de Ferreiras	Fonte de Energia Renovável – Energia fotovoltaica nas ETAR de Vale Faro e de Ferreiras	Consumo/produção de energia	Forçamento do modelo	AdA	Privado

Além dos dados da tabela anterior, convém ainda dispor de:

- Descrição detalhada/projeto e telas finais das estações elevatórias, incluindo: Layout da instalação, grupos eletrobomba, válvulas, órgãos de medição e regulação, pré-tratamentos, condutas elevatórias, cotas e alturas de elevação, dados dos fabricantes sobre curvas características, eficiência dos variadores de frequência e do motor.

- Desejavelmente, outra informação disponível, tal como relatórios de manutenção/exploração, auditorias e estudos

Tabela 17. Tabela resumo dos produtos do modelo de energia

Resultados	Localização	Uso
Consumo de energia	Estações Elevatórias modeladas	Validação do modelo / Alerta
Potência de ponta	Estações Elevatórias modeladas	Validação do modelo / Alerta
Eficiência energética da EE	Estações Elevatórias modeladas	Validação do modelo
Eficiência energética das ETAR	A definir	Validação do modelo

Sistema de previsão em tempo real

No âmbito do SINERGEA, o sistema de previsão integrará os modelos de simulação do escoamento superficial, dos coletores (modelação 1D/2D), do meio recetor e da energia, cujas implementações no caso de estudo deverão ser fornecidas, após calibração/validação. Serão também integrados os modelos de energia. Será forçado pelas previsões atmosféricas do modelo WRF descritas acima. Na aplicação ao caso de estudo, o modelo de 1 km cobre toda a região do Algarve, de modo a simplificar a extensão do sistema a outras cidades algarvias, mas também para facilitar a validação dos resultados, que deste modo poderá recorrer a dados meteorológicos de toda a região.

A aplicação da infraestrutura WIFF neste caso de estudo será implementada nos servidores da infraestrutura nacional de computação distribuída (INCD), sendo duplicadas as componentes de simulação dos vários módulos nos servidores do LNEC e de outros parceiros para redundância e garantia de robustez das previsões e do suporte à emissão de alertas. Os resultados das previsões e de produtos previamente definidos com base nestas previsões serão arquivados em base de dados, para permitir a interação com o XHQ. As Tabelas 18 à 20 sumarizam os inputs relativos ao WIFF.

Tabela 18. Tabela resumo dos dados de inputs do WIFF relativos aos modelos das redes de drenagem

Fontes de Informação	Localização	Dados	Uso	Entidade fornecedora	Acesso
Modelo coletor – troço canalizado da ribeira de Albufeira	Bacia da ribeira de Albufeira	Ficheiros de input para simulação do escoamento e variáveis de qualidade da água	Forçamento dos modelos de drenagem, de energia e do modelo do meio recetor Cálculo dos indicadores de inundação	IST/LNEC	Privado
Modelo coletor – Caneiro e restantes coletores da zona baixa de Albufeira.	Zona baixa de Albufeira	Ficheiros de input para simulação do escoamento e variáveis de qualidade da água	Forçamento dos modelos de drenagem, de energia e do meio recetor Cálculo dos indicadores de inundação	IST/LNEC	Privado
Modelo do meio recetor	Coletores (pontos de descarga)	Nível de água	Forçamento dos modelos de drenagem	LNEC	Privado
Modelo de drenagem – outras áreas	Outras áreas de Albufeira e zonas adjacentes	Ficheiros de input para simulação do escoamento e variáveis de qualidade da água	Forçamento do modelo do meio recetor	LNEC/IST	Privado
Modelo do sistema interceptor	Sistema de drenagem em baixa – entre os coletores e a ETAR	Ficheiros de input para simulação do escoamento e variáveis de qualidade da água	Forçamento dos modelos da ETAR, de energia e do meio recetor	LNEC/IST	Privado
Modelo da ETAR	Entre o sistema interceptor e o meio recetor	Ficheiros de input para simulação do escoamento e variáveis de qualidade da água	Forçamento dos modelos de energia e do meio recetor	LNEC/IST	Privado

Tabela 19. Tabela resumo dos dados de inputs do WIFF relativos ao modelo de energia

Fontes de Informação	Localização	Dados	Uso	Entidade fornecedora	Acesso
Modelo de energia	EE	Ficheiros de input dos caudais, pressões, alturas de água e consumos de energia nas EE	Cálculo do consumo de energia e cálculo dos indicadores de energia	LNEC	Privado
Modelo de energia	ETAR de Vale de Faro	Ficheiros de input dos caudais, pressões, alturas de água e consumos de energia na ETAR	Cálculo do consumo de energia e cálculo dos indicadores de energia	LNEC	Privado
Modelo de energia	ETAR de Ferreiras	Ficheiros de input dos caudais, pressões, alturas de água e consumos de energia na ETAR	Cálculo do consumo de energia e cálculo dos indicadores de energia	LNEC	Privado
Modelo de energia	Fontes de energias renováveis	Ficheiros de input da energia de FER	Cálculo do consumo de energia e cálculo dos indicadores de energia	LNEC	Privado

Tabela 20. Tabela resumo dos dados de inputs do WIFF relativos ao modelo do meio recetor.

Fontes de Informação	Localização	Dados	Uso	Entidade fornecedora	Acesso
IBI-CMEMS Global-CMEMS	Fronteira oceânica	Níveis, Velocidades Temperatura, salinidade	Forçamento oceânico do modelo	CMEMS	Público
WAVEWATCH-III-LNEC	Fronteira oceânica	Espectros	Forçamento oceânico do modelo	LNEC	Privado
Modelo do sistema de drenagem, sistema interceptor e ETAR	Pontos de ligação com o modelo do meio recetor	Caudais, Temperatura, <i>E. coli</i> , Enterococos intestinais	Forçamento do modelo	LNEC/IST	Privado
Climatologia	Fronteira oceânica	<i>E. coli</i> , enterococos intestinais	Forçamento oceânico do modelo	LNEC/UAlg	Privado
Modelo WRF-IST Modelo ARPEGE Modelo GFS	Superfície (forçamento atmosférico)	Vento, pressão atmosférica, temperatura do ar, humidade relativa, radiação solar e radiação de longo comprimento de onda	Forçamento atmosférico	IST Météo France NOAA	Privado Público

Customização do Sistema inteligente para operação otimizada XHQ-SINERGEA para Albufeira e zona costeira

Embora criar uma solução deste género possa ser um processo muito moroso, é necessário menos esforço de configuração do que seria expectável, uma vez que não é necessária programação. Os componentes, o modelo informacional e todos os conteúdos visuais são declarados e configurados por métodos gráficos que permitem delinear, desenhar e inserir parâmetros nos campos de entrada de dados. O XHQ apresenta um ambiente não-programático muito natural que facilita a construção de modelos de dados, soluções, sinópticos e relatórios.

Para desenvolver uma aplicação XHQ, identificam-se os componentes informativos que serão reutilizados várias vezes na solução, constrói-se um layout natural e lógico da hierarquia informacional e, de seguida, desenvolvem-se visualizações que apresentem as informações desses componentes de uma maneira significativa.

As etapas que deverão ser seguidas para configurar o sistema são as seguintes:

- Desenvolver um esboço do modelo informativo no papel. É preciso saber que informações estão disponíveis nos sistemas de *back-end*. Também é necessário definir quais as informações de que os utilizadores precisam, bem como os objetivos do sistema;
- Desenvolver componentes de informações reutilizáveis, os quais formarão os blocos construtivos da aplicação final. Estes componentes são armazenados num catálogo para fácil acesso e implementação;
- Criar o modelo ou a hierarquia da solução. O modelo é um diretório gráfico que contém os componentes informacionais numa relação lógica. Os dados dos sistemas de *back-end* são mapeados para as instâncias dos componentes no diretório gráfico. Para criar o modelo, são colocadas instâncias dos componentes genéricos do catálogo;
- Configurar cada instância dos componentes usados. Para cada instância de um componente, são inseridas propriedades gerais (nome, descrição etc.), declarados parâmetros de configuração do conector (ou queries SQL, etc.) e implementada uma estratégia para armazenar valores de séries temporais.
- Desenvolver sinópticos diferentes das informações nos componentes. Esses sinópticos apresentarão as informações de diferentes maneiras, de acordo com as funções dos utilizadores que interagem com o sistema (por exemplo, a visão do planeamento, a da manutenção, a da gestão, etc.). O XHQ possui um ambiente de desenho vetorial com extensões que permitem criar qualquer coisa, desde tabelas simples e relatórios a imagens animadas muito complexas.

Estas etapas requerem, normalmente, o seguinte conjunto de habilitações:

- Modelação: O primeiro passo é analisar as necessidades dos utilizadores e, de seguida, desenvolver um modelo de suporte no papel. Esta tarefa requer habilitações ligadas à análise de sistemas e de processos / negócios;
- Construção de componentes: A construção de componentes passa, normalmente, por escolher entre as alternativas disponíveis, adicionar novos parâmetros de dados, desenvolver *queries* em SQL e uma estratégia de declaração para guardar valores com datação horária. Conhecimentos de lógica, aplicações com *queries* e uma compreensão do impacto de estruturas reutilizáveis no desempenho são as habilitações mais importantes;

- Reutilização de componentes: Quando a construção dos componentes estiver concluída, uma solução pode começar a ser delineada reutilizando os componentes previamente criados no catálogo do XHQ e declarando os parâmetros para criar uma instância do componente diferente da próxima. As habilitações necessárias são semelhantes às da construção de componentes;
- Desenvolvimento de sinópticos: A etapa final é desenvolver visualizações úteis para o utilizador. Um talento artístico, uma apreciação pela estética e uma compreensão da usabilidade e interação humana com interfaces de utilizador são as habilitações mais significativas.

O XHQ fornece produtividade de desenvolvimento sem precedentes. Tipicamente, aplicações abrangentes que compreendem um modelo, componentes informacionais, e sinópticos que representam processos complexos podem ser criados no espaço de algumas semanas, dependendo do âmbito, e projetos completos podem ser desenvolvidos nalguns meses.

No fim deste processo, a solução está pronta para testar e implementar, sujeita, naturalmente, às adaptações e correções que se revelem necessárias durante as primeiras etapas de implementação.

Qualquer sistema de informação requer atualizações para acompanhar as mudanças inevitáveis do negócio / processo, necessidades dos utilizadores e fontes de dados. Esses custos contínuos contribuem fortemente para o custo total de propriedade. O XHQ foi arquitetado desde o início para simplificar a manutenção de um sistema atual e útil. Ao usar um catálogo de componentes, soluções e sinópticos reutilizáveis, sempre que é feita uma alteração no “master” ela é refletida automaticamente em todas as instâncias em que o master foi usado.

Ao contrário de outras soluções de negócios, as aplicações desenvolvidas em XHQ são desenvolvidas online, sem desligar o servidor. É possível criar uma solução parcial, torná-la disponível e, em seguida, alterá-la e expandi-la continuamente sem interrupções para o sistema que se encontra em funcionamento.

Catálogo de Requisitos do Sistema

Requisitos da Plataforma de Monitorização

PLAMON-REQ-01	Recolher a informação das fontes de dados
PLAMON-REQ-02	Estruturar a informação recolhida
PLAMON-REQ-03	Guardar a informação estruturada em bases de dados
PLAMON-REQ-04	Disponibilizar o acesso de informação estruturada a modelos de simulação
PLAMON-REQ-05	Disponibilizar acesso seguro (e autenticado) às bases de dados
PLAMON-REQ-06	Intermediar o acesso às bases de dados através de Web Services (autenticados)
PLAMON-REQ-07	Identificar faltas e/ou falhas de recolha de dados
PLAMON-REQ-08	Identificar faltas e/ou falhas na disponibilização dos dados
PLAMON-REQ-09	Gerar alertas mediante condições pré-determinadas

Requisitos do Sistema Integrado de Modelos

SIMOD-REQ-01	Executar corretamente os modelos de simulação envolvidos
SIMOD-REQ-02	Encadear os modelos de simulação de acordo com a Figura 1
SIMOD-REQ-03	Aceder aos dados disponibilizados através da plataforma de monitorização
SIMOD-REQ-04	Obter de forma correta os dados de entrada para a execução dos modelos
SIMOD-REQ-05	Produzir informação necessária à execução dos modelos envolvidos
SIMOD-REQ-06	Identificar faltas e/ou falhas na execução dos modelos
SIMOD-REQ-07	Identificar faltas e/ou falhas na produção da informação produzida pelos modelos
SIMOD-REQ-08	Resolver e alertar para situações anómalas na execução dos modelos

Requisitos do Sistema de Previsão em Tempo-real

SPREVTR-REQ-01	Automatizar o processo de execução dos modelos de simulação
SPREVTR-REQ-02	Estruturar a informação produzida em bases de dados
SPREVTR-REQ-03	Criar produtos de visualização periodicamente
SPREVTR-REQ-04	Disponibilizar acesso seguro (e autenticado) às bases de dados
SPREVTR-REQ-05	Intermediar o acesso às bases de dados através de Web Services (autenticados)
SPREVTR-REQ-06	Identificar faltas e/ou falhas na criação de produtos
SPREVTR-REQ-07	Identificar faltas e/ou falhas na disponibilização dos dados
SPREVTR-REQ-08	Gerar alertas mediante condições pré-determinadas

Requisitos da interface XHQ-Sinergea

XHQ-REQ-01	Desenvolver o modelo de dados com base nas fontes de informação
XHQ-REQ-02	Criar e estruturar componentes no catálogo do XHQ
XHQ-REQ-03	Criar o modelo / hierarquia funcional da solução no XHQ
XHQ-REQ-04	Definir utilizadores e níveis de acesso
XHQ-REQ-05	Ligar às fontes de informação com os conectores adequados
XHQ-REQ-06	Desenvolver sinópticos de acordo com funções e utilizadores
XHQ-REQ-07	Desenvolver o sistema de alertas e notificações
XHQ-REQ-08	Estabelecer ligações seguras aos clientes XHQ para visualização remota

Lista de autores e instituições

SIEMENS

António Soares
Hugo A. Rodrigues
José Nunes

Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)

Anabela Oliveira
Luís Mesquita David
Marta Rodrigues
Gonçalo de Jesus
André B. Fortunato
Armando Pinto
João Rogeiro
Ana Mendes

Instituto Superior Técnico (IST)

José Saldanha Matos
Filipa Ferreira
João Barreiro
Ramiro Neves
Jorge Palma
Ana Ramos Oliveira
Francisco Campuzano Guillen

Universidade do Algarve

Alexandra Cravo
José Jacob
Luís Nunes

Águas do Algarve

António Martins
Joaquim Freire
Osvaldo Silva
Nuno Silva
Alexandre Ataíde
Sara Barreto

Câmara Municipal de Albufeira

Paulo Batalha
Ana Paula Claro
Felipe André

Referências

- Aragonés L, López I, Palazón A, López-Úbeda R, García C (2016). Evaluation of the quality of coastal bathing waters in Spain through fecal bacteria *Escherichia coli* and *Enterococcus*, *Sci. Total Environ.*, 288–297, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.106>.
- Azevedo A, Oliveira A, Fortunato AB, Zhang J, Baptista AM (2014). A cross-scale numerical modeling system for management support of oil spill accidents. *Marine Pollution Bulletin*, 80 (1–2), 132-147.
- Brauwer A, Brye B, Servais P, Passerat J, Deleersnijder E (2011). Modelling *Escherichia coli* concentrations in the tidal Scheldt river and estuary. *Water Research*, 45, 2724-2738.
- Canteras JC, Juanes JA, Pérez L, Koev KN (1995). Modelling the coliforms inactivation rates in the Cantabrian Sea (Bay of Biscay) from in situ and laboratory determinations of T90. *Water Science and Technology*, 32, 37–44.
- Chapra S (1997). *Surface Water Quality Modeling*. McGraw-Hill, New York.
- David L.M. (2006). Descargas de excedentes de sistemas de drenagem urbana - estudo referenciado em resultados experimentais obtidos em Portugal. Dissertação para obtenção do grau de doutor em Engenharia Civil, I.S.T./U.T.L.
- David LM, Rodrigues M, Fortunato AB, Oliveira A, Mota T, Costa J, Rogeiro J, Jesus G, Gomes JL, Menaia J (2015). Demonstration system for early warning of faecal contamination in recreational waters in Lisbon. *Climate Change, Water Supply and Sanitation: Risk Assessment, Management, Mitigation and Reduction*. IWA, 18-23.
- DHI (2020). Mike Urban - Stormwater and Wastewater. Modelling of storm water drainage networks and sewer collection systems. <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-urban/collection-systems>, acessado a 7 de maio de 2020
- Economopoulou MA, Economopoulos AP. Graphical sizing and analysis of ocean outfalls with buoyant plumes. *Journal of Environmental Engineering*, 127(1), 3-12.
- Fortunato AB, Freire P, Bertin X, Rodrigues M, Ferreira J, Liberato MLR (2017a). A numerical study of the February 15, 1941 storm in the Tagus estuary. *Continental Shelf Research* 144: 50-64.
- Fortunato AB, Oliveira A, Rogeiro J, Costa RT, Gomes JL, Li K, Jesus G, Freire P, Rilo A, Mendes A, Rodrigues M, Azevedo A (2017b). Operational forecast framework applied to extreme sea levels at regional and local scales. *Journal of Operational Oceanography*, 10(1), 1-15.
- Guerin T, Bertin X, Dodet G (2016) A numerical scheme for coastal morphodynamic modelling on unstructured grids. *Ocean Modelling*, 104, 45-53.
- Hathaway JM, Hunt WF (2011). Evaluation of first flush for indicator bacteria and total suspended solids in urban stormwater runoff. *Water, Air & Soil Pollution*, 217 (1), 135–147.

Innovyze (2020). InfoWorks ICM, <https://www.innovyze.com/en-us/products/infoworks-icm>, acessada a 7 de maio de 2020.

Kalaiselvan ASV, Subramaniam U, Shanmugam P, Hanigovszki N (2016). A comprehensive review on energy efficiency enhancement initiatives in centrifugal pumping system. *Applied Energy* 181, 495-513.

Kaya D, Yagmur EA, Yigit KS, Kilic FC, Eren AS, Celik C. (2008). Energy efficiency in pumps. *Energy Convers Manage*, 49:1662–73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2007.11.010>.

Leite, P., Vivas, E., Valente, L., Ferreira, F., José, C., & Teixeira, M. (2014). Avaliação de desempenho de grupos eletrobomba através da realização de testes de eficiência. In 12.º Congresso da Água, 15 pp.

Matos R, Cardoso A, Ashley R, Duarte P, Molinari A, Schulz A (2003). Performance Indicators for Wastewater Services. Manual of Best Practices Series. IWA Publishing, London

Pinto et al. (2016). Método integrado AdaPT AC:T de avaliação da vulnerabilidade às Alterações Climáticas de Hotéis. LNEC e IPMA, adapt-act.lnec.pt/pdfs/task7/Relatorio_Metodo.pdf

Pinto L, Fortunato AB, Zhang Y, Oliveira A, Sancho FEP (2012). Development and validation of a three-dimensional morphodynamic modelling system for non-cohesive sediment. *Ocean Modelling*, 57–58, 1–14.

Pongmalaac K., Autixierac L., Madoux-Humery A., Fuamba M, Galarneaud M., Sauvée S., Prévost M., Dorner S. (2016). Modelling total suspended solids, E. coli and carbamazepine, a tracer of wastewater contamination from combined sewer overflows. *Journal of Hydrology* 531(3), 830-839, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.10.042>

Roberts PJW, Snyder WH, Baumgartner DJ (1989a). Ocean outfalls. I: Submerged wastefield formation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 115(1), 1-25.

Roberts PJW, Snyder WH, Baumgartner DJ (1989b). Ocean outfalls. II: Spatial evolution of submerged wastefield. *Journal of Hydraulic Engineering*, 115(1), 26-48.

Rossmann L.A. (2015). Stormwater Management Model User's Manual, Version 5.1. U.S. Environmental Research Agency. EPA-600/R-14/413b Revised September 2015

Rodrigues M (2012). Análise de efeitos de factores climáticos e antropogénicos na Ria de Aveiro. Tese de doutoramento em Biologia, Universidade de Aveiro.

Rodrigues M, Guerreiro M, David LM, Oliveira A, Menaia J, Jacob J (2016). Role of environmental forcings on fecal contamination behavior in a small, intermittent coastal stream: an integrated modelling approach. *Journal of Environmental Engineering*, 142(5).

Rodrigues M, Oliveira A, Guerreiro M, Fortunato AB, Menaia J, David LM, Cravo A (2011). Modeling fecal contamination in the Aljezur coastal stream (Portugal). *Ocean Dynamics*, 61(6), 841-856.

Rodrigues M, Oliveira A, Queiroga H, Fortunato AB, Zhang YJ (2009). Three-dimensional modeling of the lower trophic levels in the Ria de Aveiro (Portugal). *Ecological Modelling*, 220 (9-10), 1274-1290.

Roland A., Zhang Y.J., Wang H.V., Meng Y., Teng Y.-C., Maderich V., Brovchenko I., Dutour-Sikiric M., Zanke U. (2012). A fully coupled 3D wave-current interaction model on unstructured grids. *Journal of Geophysical Research*, 117, C00J33.

Servais P, Billen G, Gonçalves A, Garcia-Armisen T (2007a). Modelling microbiological water quality in the Seine river drainage network: past, present and future situations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1581-1592.

Servais P, Garcia-Armisen T, George I, Billen G (2007b). Fecal bacteria in the rivers of the Seine drainage network (France): sources, fate and modelling. *Science of the Total Environment*, 375, 152–167.

Siemens Product Lifecycle Management Software, Inc. (2019). FAQ XHQ Operations Intelligence Software, Siemens Product Lifecycle Management Software, Inc., Aliso Viejo

Siemens Product Lifecycle Management Software, Inc. (2019). Energy Management With XHQ, Siemens Product Lifecycle Management Software, Inc., Aliso Viejo

Siemens Product Lifecycle Management Software, Inc. (2019). XHQ Operations Intelligence Software – System Architectures for Advanced Analytics, Siemens Product Lifecycle Management Software, Inc., Aliso Viejo

Siemens Product Lifecycle Management Software, Inc. (2018). XHQ Installation Guide, Siemens AG, Munich

Siemens Product Lifecycle Management Software, Inc. (2018). XHQ Getting Started, Siemens AG, Munich

Silva C, Rosa MJ (2015) Energy performance indicators of wastewater treatment - a field study with 17 Portuguese plants. *Water Science and Technology* 72(4), 510-519.

Thoe W, Wong SHC, Choi KW, Lee JHW (2012). Daily prediction of marine beach water quality in Hong Kong. *J. of Hydro-environ. Res.*, 6 (3) 164–180.

Wijesiri B., Egodawatta P., McGree J., Goonetilleke A. (2016). Assessing uncertainty in stormwater quality modelling, *Water Research* 103, 10-20, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.07.011>

WHO (2003). Guidelines for safe recreational water environments. Vol. 1 Coastal and fresh waters. www.who.int/water_sanitation_health/bathing/srwg1.pdf

Wilcoxson D. and Badruzzaman, M. (2013). Optimization of wastewater lift stations for reduction of energy usage and greenhouse gas emissions. WERF & IWA Publishers.

Zeng Y., Zhang Z, Kusiak A., Tang F. , Wei X. (2016). Optimizing wastewater pumping system with data-driven models and a greedy electromagnetism-like algorithm. *Stoch Environ Res Risk Assess* (2016) 30:1263-1275, DOI 10.1007/s00477-015-1115-4

Zhang X-Y, Adams EE (1999). Prediction of near field plume characteristics using far field circulation model. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(3), 233-241.

Zhang Y, Baptista AM (2008). SELFE: a semi-implicit Eulerian– Lagrangian finite-element model for cross-scale ocean circulation. *Ocean Modeling*, 21(3–4), 71–96.

Zhang YJ, Stanev EV, Grashorn S (2016). Unstructured-grid model for the North Sea and Baltic Sea: Validation against observations. *Ocean Modelling*, 97, 91-108.

Lisb@20²⁰

CRESCE ALGARVE
2020

PORTUGAL
2020

UNIÃO EUROPEIA
Fundos Europeus
Estruturais e de
Investimento

SIEMENS

INEC LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

IFT TÉCNICO
LISBOA

ÁGUAS DO
ALGARVE
Grupo Águas de Portugal

UAlg
UNIVERSIDADE DO ALGARVE
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BIOMÉDICAS E MEDICINA