



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
DIRETORIA DE PATENTES, PROGRAMAS DE COMPUTADOR E TOPOGRAFIAS DE CIRCUITOS

Certificado de Registro de Programa de Computador

Processo Nº: **BR512024004171-0**

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial expede o presente certificado de registro de programa de computador, válido por 50 anos a partir de 1º de janeiro subsequente à data de 21/10/2024, em conformidade com o §2º, art. 2º da Lei 9.609, de 19 de Fevereiro de 1998.

Título: Digital Twin do Rio Muriaé

Data de criação: 21/10/2024

Titular(es): UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Autor(es): ANTÔNIO JOSÉ DA SILVA NETO; JADER LUGON JUNIOR; LARISSA CARNEIRO RANGEL; PÂMELA THAYS ERTHAL; LÍVIA MARTINS DA COSTA

Linguagem: PYTHON

Campo de aplicação: AG-01; AH-02; AH-03; AH-04; AN-02; HD-01; HD-02; HD-03; IF-01; IF-07; IN-02; MA-01; MA-02; MT-06; UB-01

Tipo de programa: SM-01

Algoritmo hash: SHA-512

Resumo digital hash:

e2c1c00669759bb0fe0edb19c2a34c092cdd02bc8ac0c70f9540ddea1c742d09d8fa78224394833e875b4bcfe7e28a9ceb
bcd3244fb473b211f7ccc8d7923db3

Derivação autorizada: Sim, Título: MOHID Linguagem: ANSI FORTRAN 95

Expedido em: 12/11/2024

Aprovado por:

Carlos Alexandre Fernandes Silva
Chefe da DIPTO

Descrição do programa

DIGITAL TWIN DO RIO MURIAÉ

Ferramenta computacional para avaliação da resposta hidrológica de
sub-bacia do rio Muriaé

Autores:

Larissa Carneiro Rangel

Jader Lugon Junior

Pâmela Thays Erthal

Lívia Martins da Costa

Antônio J. da Silva Neto

2024

Sumário

1. INTRODUÇÃO	3
2. SISTEMA I/O (INPUT/OUTPUT)	6
2.1. Dados de entrada.....	6
2.2. Saída de resultados	8
3. PROCESSOS.....	9
3.1. Definição pelo usuário do que será alterado	10
3.2. Processamento dos dados de entrada.....	12
3.3. Execução da simulação	13
3.4. Construção e exportação dos arquivos de saída	13
4. INTERFACE COM O USUÁRIO.....	15
5. REFERÊNCIAS.....	16

1. INTRODUÇÃO

O *Digital Twin* iniciou sendo utilizado na área de engenharia, replicando objetos físicos. Mais tarde, passou a englobar processos em software e simulações de componentes de hardware, passando a contribuir na esfera da ciência ambiental. Recentemente, foi amplamente integrado como ferramenta na tomada de decisões, principalmente no que tange ao gerenciamento de risco de desastres, como prevenção e mitigação dos mesmos (ARIYACHANDRA; WEDAWATTA, 2023).

Com o uso de modelos hidrológicos, que capturam a atual compreensão do meio, codificando em modelos matemáticos capazes de representar a estrutura desejada e o comportamento da mesma, um *Digital Twin* permite a reprodução de cenários hipotéticos de interesse que auxiliem na escolha dessas medidas de redução de riscos de desastres (BLAIR, 2021).

Porém, ao contrário de simulações convencionais, o *Digital Twin* não só representa digitalmente um objeto ou processo, como também incorpora recursos que possibilitam interatividade e atualização em tempo real. Tornar os dados acessíveis e acionáveis pelo usuário, reduzindo o tempo de estudo para gerenciamento desses processos, é uma das funções de um *Digital Twin* (ARIYACHANDRA; WEDAWATTA, 2023).

A modelagem hidrológica envolve dois processos necessários ao melhor resultado das simulações e, conseqüentemente, melhor representação do comportamento de uma bacia hidrográfica: a calibração e a validação do modelo. Como pode haver discrepâncias entre os valores medidos e os primeiros resultados do modelo, a comparação dos resultados simulados com dados reais torna-se indispensável (SILVEIRA *et al.*, 2022).

A calibração permite o ajuste dos valores dos parâmetros de entrada identificados como mais sensíveis na análise de sensibilidade, sendo a ausência de série de dados das bacias modeladas uma das grandes dificuldades que os pesquisadores encontram para realizar a calibração e validação dos modelos. A análise de sensibilidade vem a contribuir nesse processo por possibilitar identificar os parâmetros que mais influenciam sobre a variável simulada e nos resultados gerados. Esses parâmetros são associados a variáveis como às classes de uso da terra ou aos tipos de solo (BLAINSKI *et al.*, 2017).

A validação garante que o modelo seja considerado adequado para realizar as simulações da bacia. Para tanto, nessa etapa, executa-se o modelo com os valores dos parâmetros determinados na calibração para um período de dados diferente do utilizado na etapa anterior, de forma a verificar se os critérios mínimos de qualidade foram atendidos. Esses critérios podem ser verificados pela análise de hidrogramas, assim como pelo uso de métricas de erros (BLAINSKI *et al.*, 2017).

No DIGITAL TWIN DO RIO MURIAÉ, foi utilizada a plataforma MOHID, com interface gráfica de propriedade da Bentley, intitulada *OpenFlows FLOOD* para caracterização da bacia hidrográfica em questão (RANGEL, 2024a). A plataforma MOHID, desenvolvida pela equipe da MARETEC pertencente a Escola de Engenharia da Universidade Técnica de Lisboa, está programada na linguagem ANSI FORTRAN 95, com código aberto, e iniciou-se em 1985, sendo submetida a atualizações desde então (RODRIGUES, 2012).

A programação da plataforma MOHID é orientada a objetos e faz uso do método dos volumes finitos para resolver as equações que possibilitam a

simulação de diversos processos físicos e biogeoquímicos que ocorrem em diferentes sistemas, como as bacias hidrográficas e aquíferos. Duas soluções principais que a plataforma oferece são o MOHID *Water* e o MOHID *Land*, tendo cada uma delas diferentes módulos relacionados com processos específicos que ocorrem dentro de uma bacia hidrográfica e em um meio específico. As equações que compõem a solução MOHID *Land*, utilizada no DIGITAL TWIN DO RIO MURIAÉ, se resumem em equação de conservação de massa (equação de transporte de propriedade em volume finito e uma direção) e equação do momento (equação de Saint Venant em 1D ou 2D com o fluxo). Essas equações, respectivamente (Eq. 1 e 2), serão apresentadas de forma simplificada na sequência (MOHIDWIKI, 2024).

$$\frac{(V \times C_i \times \theta_i)^{t+\Delta t} - (V \times C_i \times \theta_i)^t}{\Delta t} = - \left(Q_{i+\frac{1}{2}} \times C_{i+\frac{1}{2}}^* - Q_{i-\frac{1}{2}} \times C_{i-\frac{1}{2}}^* \right) + \left(\gamma_{i+\frac{1}{2}}^* \times A_{i+\frac{1}{2}} \times \frac{C_{i+1}^* - C_i^*}{\Delta x_i} - \gamma_{i-\frac{1}{2}}^* \times A_{i-\frac{1}{2}} \times \frac{C_i^* - C_{i-1}^*}{\Delta x_i} \right) + [Sources - Sinks] \quad (1)$$

onde:

V é o volume da célula (m^3)

C é a concentração da propriedade da célula (g/m^3)

θ é o conteúdo de água da célula (m^3H_2O/m^3 célula)

Δt é a etapa de tempo (s)

Q é o fluxo na face da célula (m^3/s)

γ é a difusividade na célula face (m^2/s)

* é t no caso de modelo explícito e $t+\Delta t$ no caso de modelo implícito

$$\frac{\partial Q_i}{\partial t} + v_j \frac{\partial Q_i}{\partial x_j} = -g \times A \left(\frac{\partial H}{\partial x_i} + S_{fi} \right) \quad (2)$$

onde:

v é a velocidade na direção espacial (L/T)

t é o tempo

H é o nível da coluna de água = Canal/Topografia Nível do fundo + altura da água

x_i é a direção espacial onde a velocidade é resolvida

x_j são todas as direções espaciais (que interagem com a transmissão de momento)

g é a força da gravidade (LT-2)

S_f é a inclinação da superfície da água ou a perda de carga hidráulica linear (L/L)

R_o é a densidade (ML-3)

A é a área vertical

Existem módulos que são internos, sendo invisíveis ao usuário, e separados no arquivo fonte para melhor organização dos programadores. Outros são utilizados para comunicação com o usuário, como: o *Atmosphere*, que é responsável pelos dados meteorológicos necessários para calcular os processos; o *Porous Media*, que calcula a infiltração e movimento de água insaturada e saturada; o *Runoff*, que calcula o escoamento superficial; e o *Drainage Network*, que trata o encaminhamento de águas e propriedades e suas transformações dentro dos rios (MOHIDWIKI, 2024).

A ferramenta DIGITAL TWIN DO RIO MURIAÉ abrange quase toda sub-bacia do rio Muriaé, pertencente à Região Hidrográfica do Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana (RH-IX), tendo os municípios com áreas urbanas cortadas pelo rio Muriaé inseridos na bacia hidrográfica representada por esse modelo. Possuindo extensão territorial de 7298km², essa bacia está representada na Fig. 1.

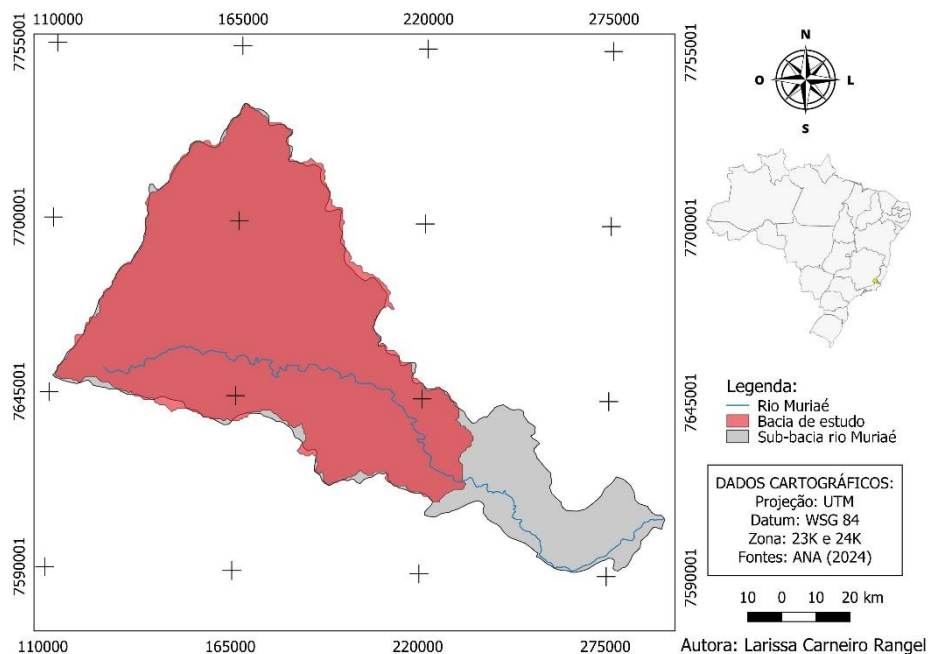


Figura 1 – Localização da bacia do DIGITAL TWIN DO RIO MURIAÉ.

Alguns municípios da Região Norte e Noroeste Fluminense pertencentes à bacia hidrográfica do DIGITAL TWIN DO RIO MURIAÉ sofrem, constantemente, com inundações. Sendo uma região marcada pela degradação do solo pelo uso da terra pastagem predominante e arraigado ao longo dos anos, propõe-se contribuir para a mitigação de inundações em áreas urbanas por meio de análise da resposta hidrológica do rio Muriaé diante da recuperação de áreas degradadas. As simulações permitem, também, avaliar a influência da parte com altitude mais elevada da bacia sobre a parte baixa, auxiliando o ordenamento urbano e as políticas públicas, de forma integrada, a mitigar esses desastres (RANGEL, 2024b).

A ferramenta, desenvolvida em linguagem Python, permite que o usuário opte por simulação com uso de dados históricos ou de previsão, com base em fonte de dados de precipitação diferentes e atualizados constantemente. Neste contexto de dificuldade de dados para validação de um modelo hidrográfico, morosidade no processo de calibração para que o modelo atenda aos critérios mínimos de qualidade, bem como a realidade que a região apresenta de inundações frequente, é que se justifica a aplicação do DIGITAL TWIN DO RIO MURIAÉ.

Discussões por parte do poder público e dos comitês de bacias hidrográficas, com embasamento no resultado de cenários simulados em um modelo hidrológico, serve como norteador e como forma de alavancar uma questão que vai além de se encontrar uma solução. É necessário se pensar ações que saiam do planejamento ideológico e utópico e partam para o planejamento que é realmente posto em prática, garantindo uma gestão futura eficiente capaz de atuar nos diversos desafios a serem enfrentados.

Esse *Digital Twin* pode servir de modelo a ser replicado em outras bacias hidrográficas, pela substituição do modelo previamente validado e pela adequação à realidade de outras regiões no que tange aos cenários de interesse sobre a mitigação de inundações.

2. SISTEMA I/O (INPUT/OUTPUT)

A Figura 2 apresenta o esquema com os arquivos de entrada necessários, os arquivos secundários gerados no decorrer do processo e os arquivos gerados ao final do processamento para visualização do usuário na própria ferramenta. Para que a ferramenta funcione é necessário que o usuário faça o cadastro e solicite acesso às duas API que o programa utiliza para obtenção de dados de precipitação, *Meteomatics Weather* e *OpenWeather*. Dessa forma, o programa conseguirá baixar, automaticamente, os dados quando a simulação for solicitada. É possível utilizar a versão gratuita das API, porém será preciso requerer por e-mail o acesso aos dados históricos que não são disponibilizados a princípio. O link para solicitação de acesso são:

<https://www.meteomatics.com/en/api/getting-started/>

<https://openweathermap.org/api>

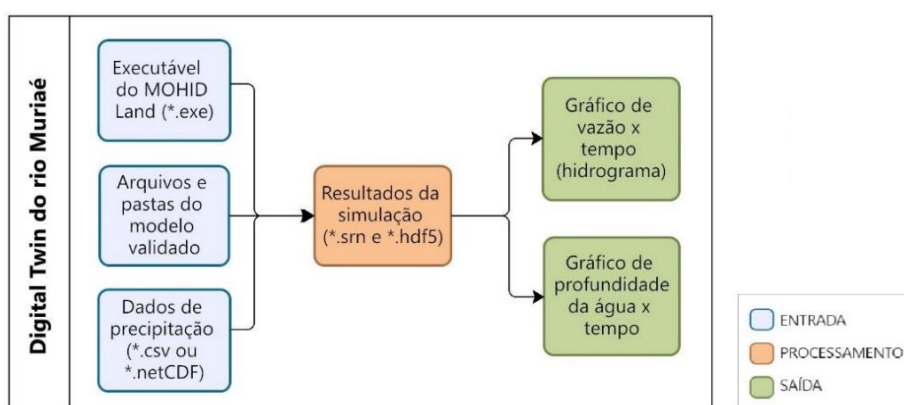


Figura 2 – I/O do DIGITAL TWIN DO RIO MURIAÉ.

2.1. Dados de entrada

Para o correto funcionamento do programa o usuário fará *download*, junto ao executável do DIGITAL TWIN DO RIO MURIAÉ, do executável do MOHID *Land* e os demais arquivos referentes ao modelo validado para essa bacia hidrográfica (vide Fig. 3). Esses arquivos incluem a delimitação da bacia, sua rede de drenagem e respectiva seção transversal, a topografia do modelo, pontos de saída de resultado, configurações do solo, do coeficiente de rugosidade e da atmosfera, bem como a definição do período da simulação e outros. O processo de validação do modelo utilizado no DIGITAL TWIN DO RIO MURIAÉ passou pela calibração de parâmetros para garantir melhores resultados nas simulações.

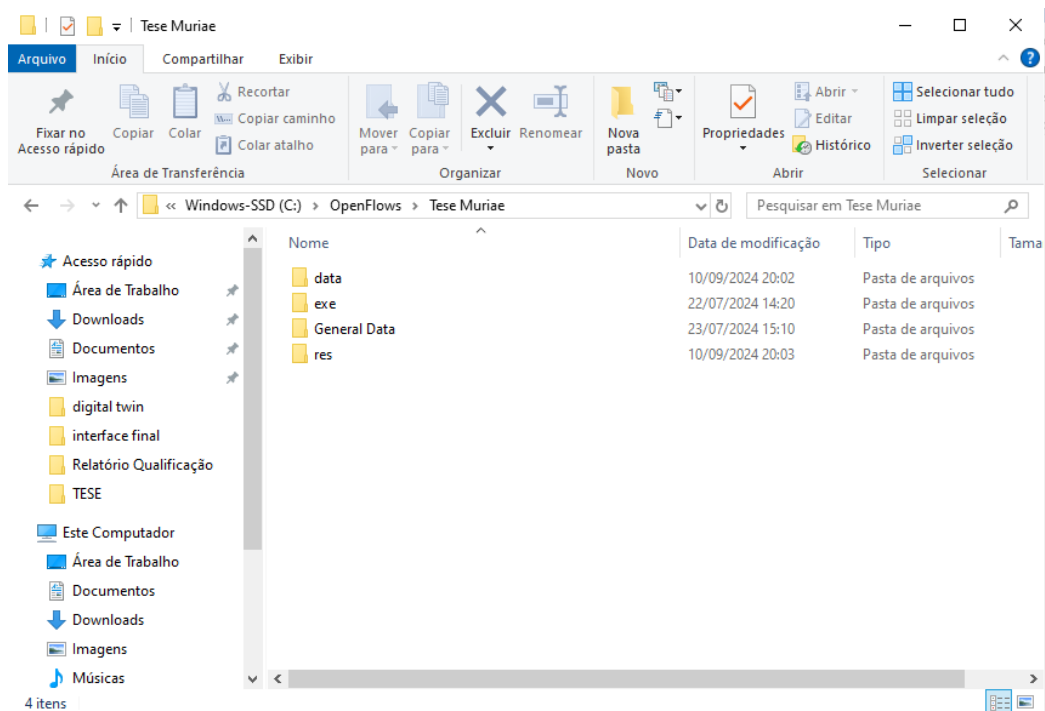


Figura 3 – Pastas contendo arquivos referentes ao modelo validado.

Os arquivos referentes aos dados de precipitação podem ter fontes distintas, conforme a definição do usuário do período desejado na simulação. No caso de simulação com uso de dados históricos, o usuário pode optar por escolher arquivos disponibilizados pela *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS)* – em caso de períodos mais antigos – ou obtidos da API *OpenWeather* – em caso de períodos mais próximos aos dias atuais. Já em caso de simulação com cenário de previsão, são utilizados dados disponibilizados em *Meteomatics Weather API* ou obtidos da API *OpenWeather* – em ambos os casos foi determinado o período de dez dias de previsão em relação aos dias atuais para garantir melhor efetividade do modelo.

O aquecimento do modelo antes da execução da simulação no período de interesse é fundamental também para garantir resultados com boa expressividade da realidade. Para tanto, são utilizados dados históricos de precipitação de CHIRPS ou de estações meteorológicas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), conforme escolha do usuário. Foi determinado o período de seis meses para aquecimento do modelo.

Nessa primeira versão da ferramenta, é necessário que o usuário prepare manualmente os arquivos referentes a esses dados do aquecimento do modelo. Dessa forma, deve-se, no caso de dados do CHIRPS, baixar os dados, converter para o formato *.hdf5 e interpolar com a bacia de estudo, utilizando a ferramenta *ConvertToHDF5* disponibilizado no site:

<http://wiki.mohid.com/index.php?title=ConvertToHDF5>

Já no caso de dados da ANA, deve-se baixar os dados e preparar o arquivo .dat referente a cada município, conforme modelo apresentado na Fig. 4. Todos os municípios necessários estão disponibilizados na pasta “*Boundary Conditions*”, dentro da pasta “*General Data*” que o usuário terá baixado junto com os executáveis.


```

Cardoso_Moreira_ID2 - dez_2014.dat - Bloco de Notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
SERIE_INITIAL_DATA : 2014. 12. 1. 0. 0. 0.0
TIME_UNITS : DAYS
!DAYS PRECIPITACAO
<BeginTimeSerie>
0      3,9
1      0
2      0
3      0
4      0
5      4,9
6      1,2
7      0,9
8      0
9      0
10     0
11     0
12     0
13     5,5
14     19,4
15     0
<EndTimeSerie>
Ln 21, Col 1      120% Windows (CRLF) UTF-8

```

Figura 4 – Modelo de arquivo com dados de estações da ANA.

2.2. Saída de resultados

Com base nos arquivos gerados como resultado da simulação executada, são disponibilizados dois desses resultados ao usuário, podendo apenas fazer a visualização desses resultados no próprio programa ou utilizar esses arquivos de saída que são, automaticamente, exportados para a pasta “res” em que estão os arquivos referentes ao modelo. É importante que o usuário copie esses arquivos para o destino desejado, caso tenha interesse de armazená-los, pois ao rodar nova simulação os arquivos anteriores são substituídos.

No programa, é possível visualizar o gráfico de vazão ou de profundidade da água, resultados da simulação, para o ponto de saída escolhido pelo usuário, como pode ser visto na Fig. 5.

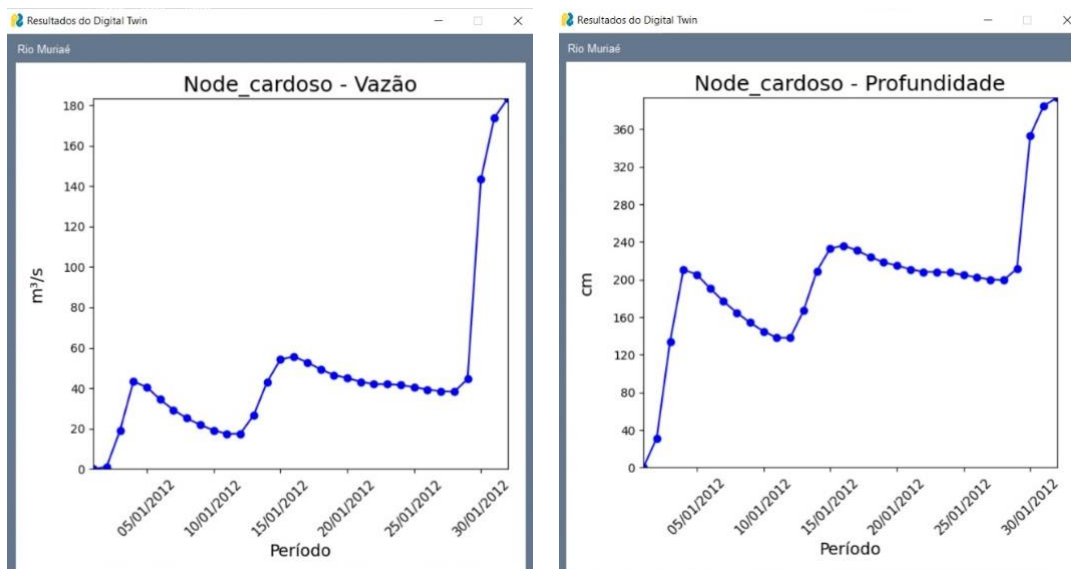


Figura 5 – Exemplo de gráficos gerados pelos resultados da simulação.

Os arquivos exportados permitem que o usuário tenha o arquivo da série temporal em formato *.srn (vide Fig. 6) e os dados do escoamento superficial em

*.hdf5 que possibilita a visualização de mapa animado de toda a bacia no OpenFlows FLOOD. Esse arquivo de série temporal fornece dados não só da vazão e da profundidade da água, como também o nível da água no canal, volume, velocidade e outros.

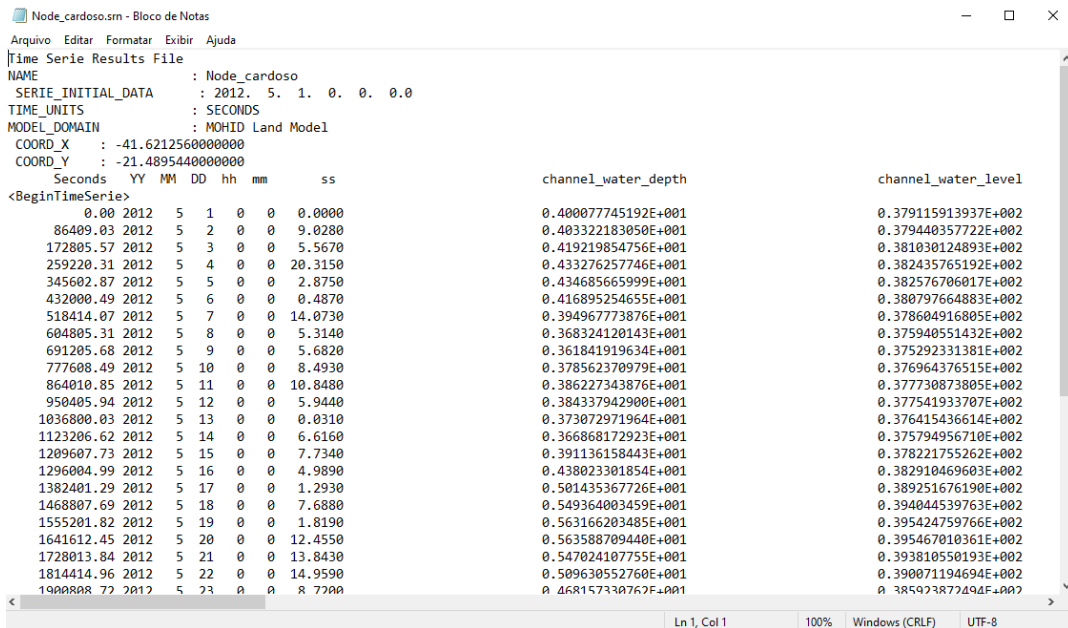


Figura 6 – Exemplo de arquivo de série temporal como saída de resultado.

3. PROCESSOS

A ferramenta possui um processo principal, que é a execução da simulação desejada, passando por subprocessos com rotinas que são responsáveis pelo processamento e construção dos arquivos de saída. Alguns desses processos dependem da interação com o usuário e outros são realizados para garantir a saída dos resultados esperados.

A Figura 7 representa, esquematicamente, o algoritmo de funcionamento DIGITAL TWIN DO RIO MURIAÉ, com os principais processos, as entradas de dados necessários e a saída de resultados correspondentes aos diferentes processos.

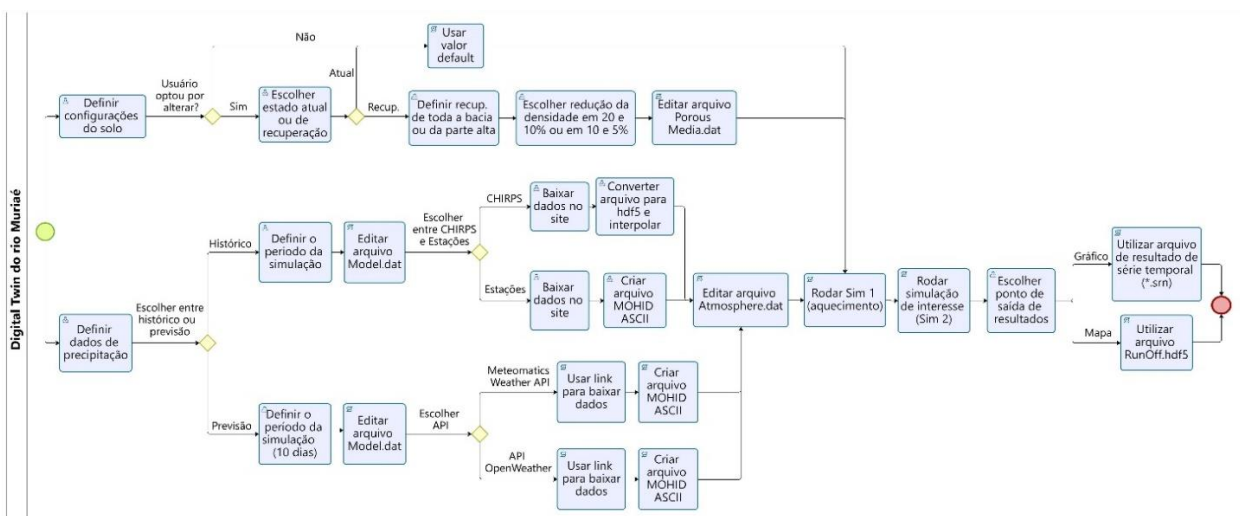


Figura 7 – Modelagem de processos do DIGITAL TWIN DO RIO MURIAÉ.

Esses processos podem ser divididos em quatro etapas que serão descritas nas próximas seções, junto às principais funcionalidades da ferramenta, suas finalidades e as metodologias utilizadas. Essas etapas são:

- a) Definição pelo usuário do que será alterado;
- b) Processamento dos dados de entrada;
- c) Execução da simulação;
- d) Construção e exportação dos arquivos de saída.

3.1. Definição pelo usuário do que será alterado

O usuário tem três módulos com possibilidade de configuração na interface inicial da ferramenta. Essas configurações estão relacionadas aos dados de entrada, ao período da simulação e à exibição dos resultados, como demonstrado na Fig. 8. Caso as configurações do solo e da precipitação não sejam alteradas, são utilizados valores *default*.



Figura 8 – Interface inicial do DIGITAL TWIN DO RIO MURIAÉ.

Em relação à configuração do solo, o usuário tem a opção de simular utilizando as características do estado atual da bacia ou de reproduzir um estado de recuperação de áreas degradadas. No caso da escolha de recuperação, o usuário pode optar por recuperar toda a bacia ou apenas a parte com altitude mais elevada. Em ambos os casos, o usuário pode ainda escolher simular uma recuperação de áreas degradadas pela redução da densidade em 20% na primeira camada do solo e 10% na segunda camada do solo ou pela redução da densidade em 10% na primeira camada e 5% na segunda. Essas opções de escolha do usuário estão ilustradas na Fig. 9.

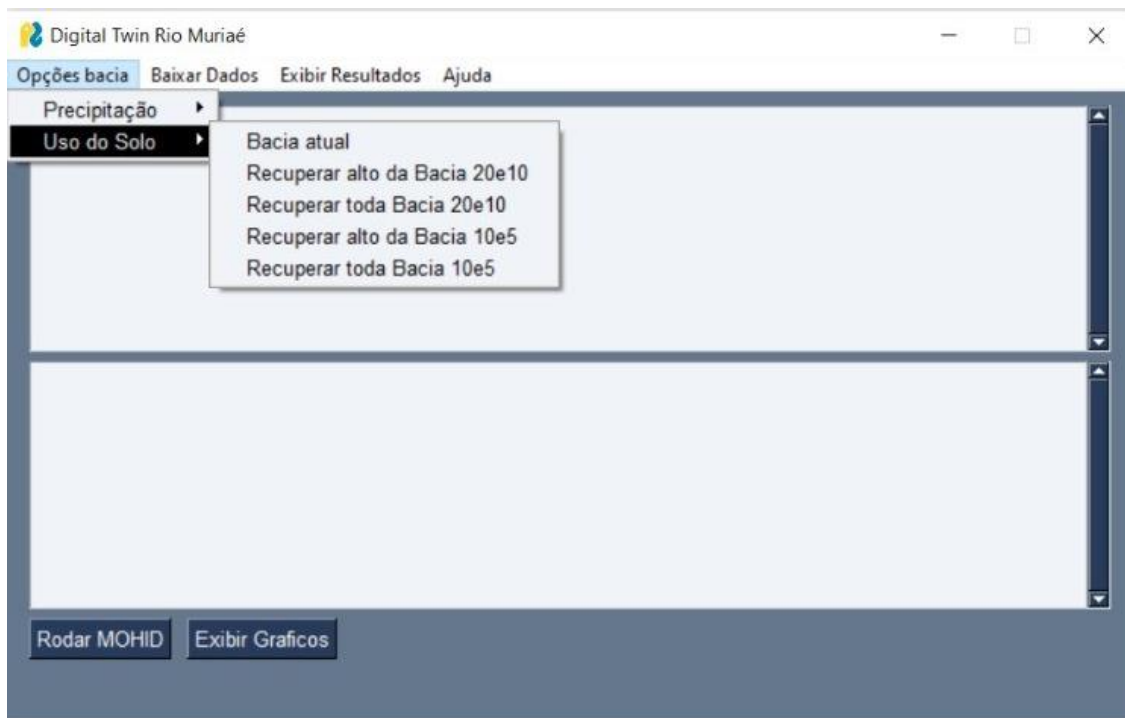


Figura 9 – Opções de escolha do usuário quanto ao estado do solo.

Já no que tange ao período da simulação, o usuário pode escolher entre uma simulação com base em dados históricos ou com base em dados de previsão. No caso de dados históricos, duas fontes de dados são fornecidas ao usuário como escolha: CHIRPS, com dados diários, ou API *OpenWeather*, com dados a cada uma hora. Já na escolha de previsão, os dados são obtidos de *Meteomatics Weather API*, como dados a cada três horas, ou da API *OpenWeather*, também com dados a cada uma hora. Esse módulo está representado pela Fig. 10.

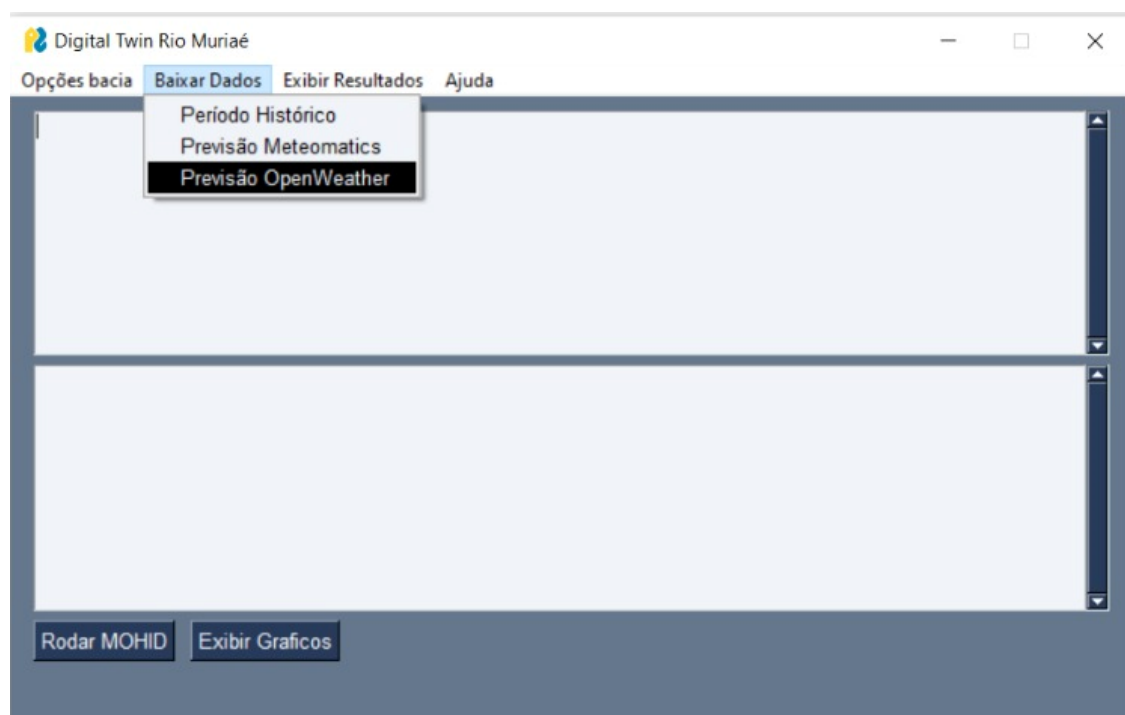


Figura 10 – Opções de escolha do usuário quanto ao período da simulação.

3.2. Processamento dos dados de entrada

O processamento dos dados passa pela obtenção e conversão dos dados de precipitação na fonte escolhida pelo usuário e pela edição dos arquivos necessários à execução da simulação.

Os dados de precipitação devem estar no formato *.hdf5 quando utilizado dados do CHIRPS e em formato MOHID ASCII quando utilizado dados de uma API. Esses arquivos são, então, preparados de acordo com essa predefinição e os arquivos referentes a API são inseridos na pasta “*Boundary Conditions*” pertencente a pasta “*General Data*” dos arquivos do modelo validado, assim como foi dito em relação aos dados de estações da ANA quando utilizados para aquecimento do modelo (vide Fig. 11).

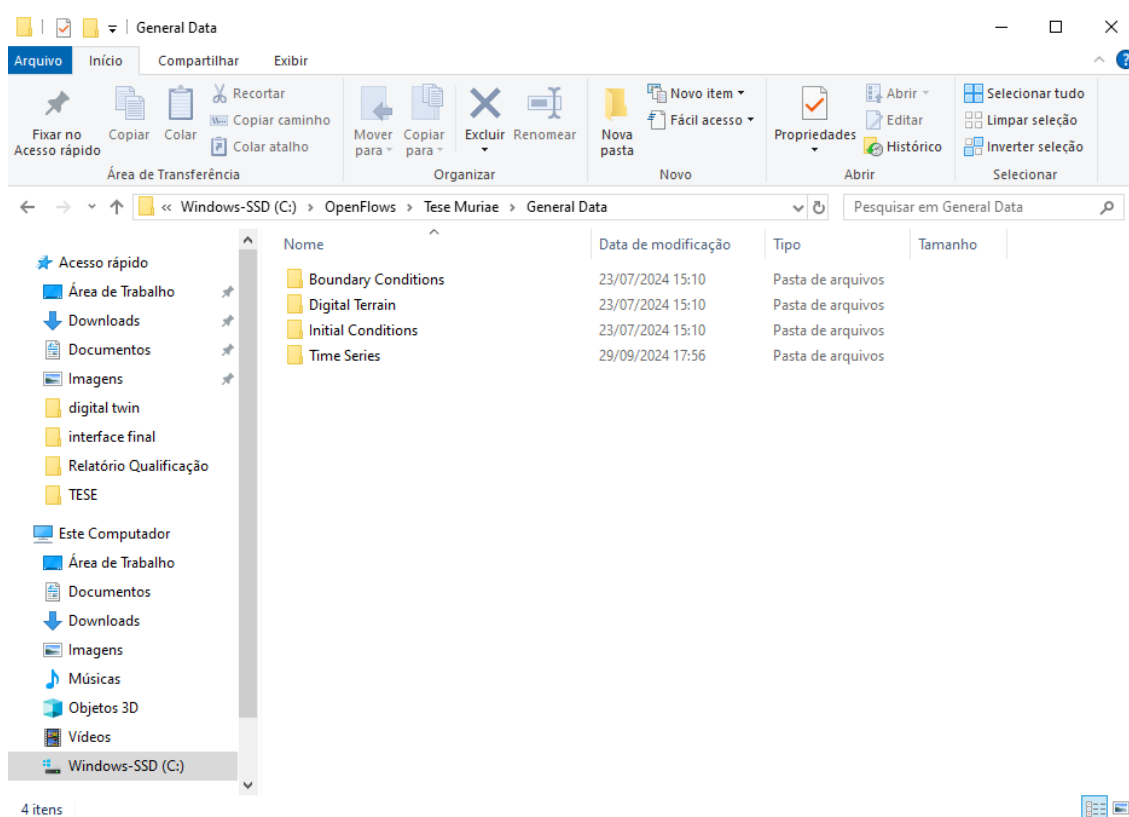


Figura 11 – Pasta “*Boundary Conditions*” em que os arquivos das API são armazenados.

Para alteração das configurações do solo, é necessária a edição do arquivo *Porous Media.dat*. Já o período da simulação é definido no arquivo *Model.dat* e os dados de precipitação no arquivo *Atmosphere.dat*. Com esses três arquivos editados, seja por valores *default* ou por escolhas do usuário, a ferramenta avança para o passo de execução da simulação. Esses arquivos encontram-se na pasta “*data*” dentre os arquivos pertencentes ao modelo validado (vide Fig.12).

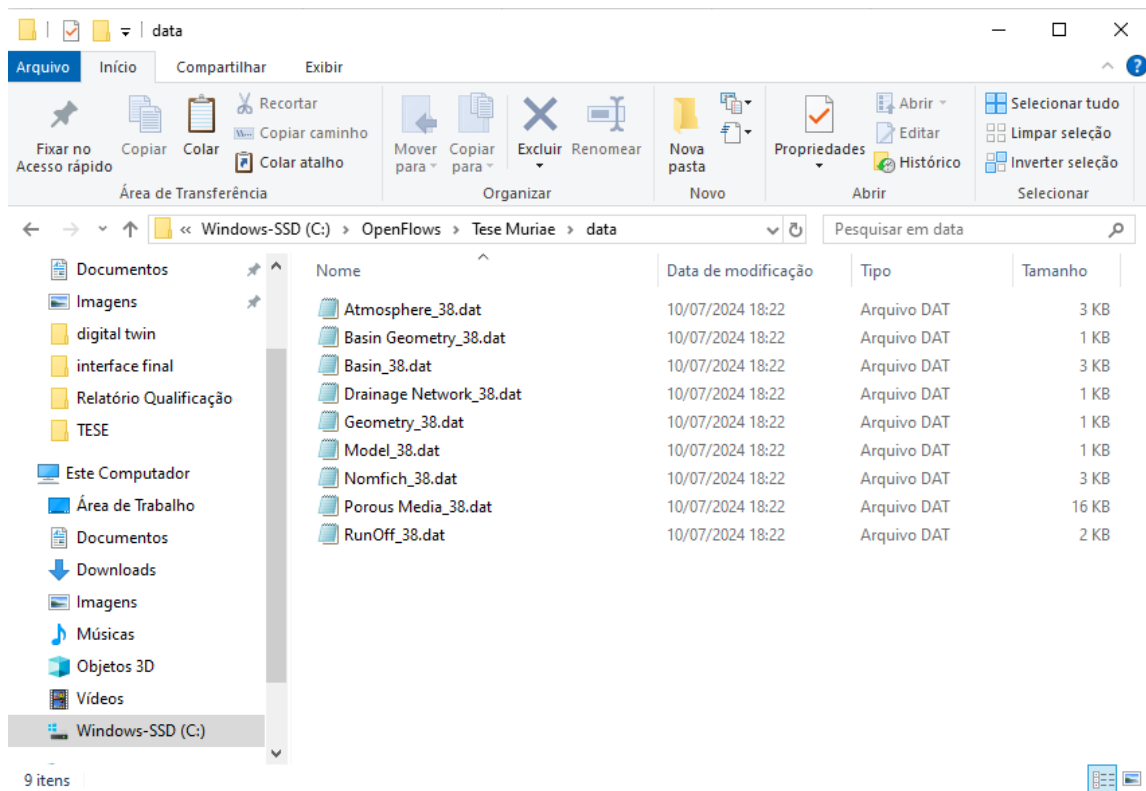


Figura 12 – Arquivos contidos na pasta “data” do modelo.

3.3. Execução da simulação

Todos arquivos referentes ao modelo validado necessários para execução de uma simulação são baixados pelo usuário junto com o executável do MOHID *Land* e da ferramenta DIGITAL TWIN DO RIO MURIAÉ. Dentre esses arquivos, apenas os correlacionados com interação do usuário são alterados, conforme necessidade, antes da execução da simulação.

As simulações são rodadas em duas etapas, uma primeira com um período de aquecimento (Simulação 1) e uma segunda com o período desejado pelo usuário (Simulação 2), que iniciará de forma automática ao final da primeira, como uma continuidade da mesma.

O tempo de duração de uma simulação realizada pela ferramenta está relacionado com o tamanho do período escolhido e com a capacidade da máquina que rodará a simulação.

3.4. Construção e exportação dos arquivos de saída

O programa permite a apresentação dos resultados na versão de gráfico, podendo ser de vazão x tempo ou de profundidade x tempo, tomando por base a série temporal gerada em formato (*.srn). A visualização do mapa animado do escoamento superficial na própria ferramenta ainda será implementada. A Figura 13 mostra o módulo de exibição dos resultados com as opções de escolha do usuário.

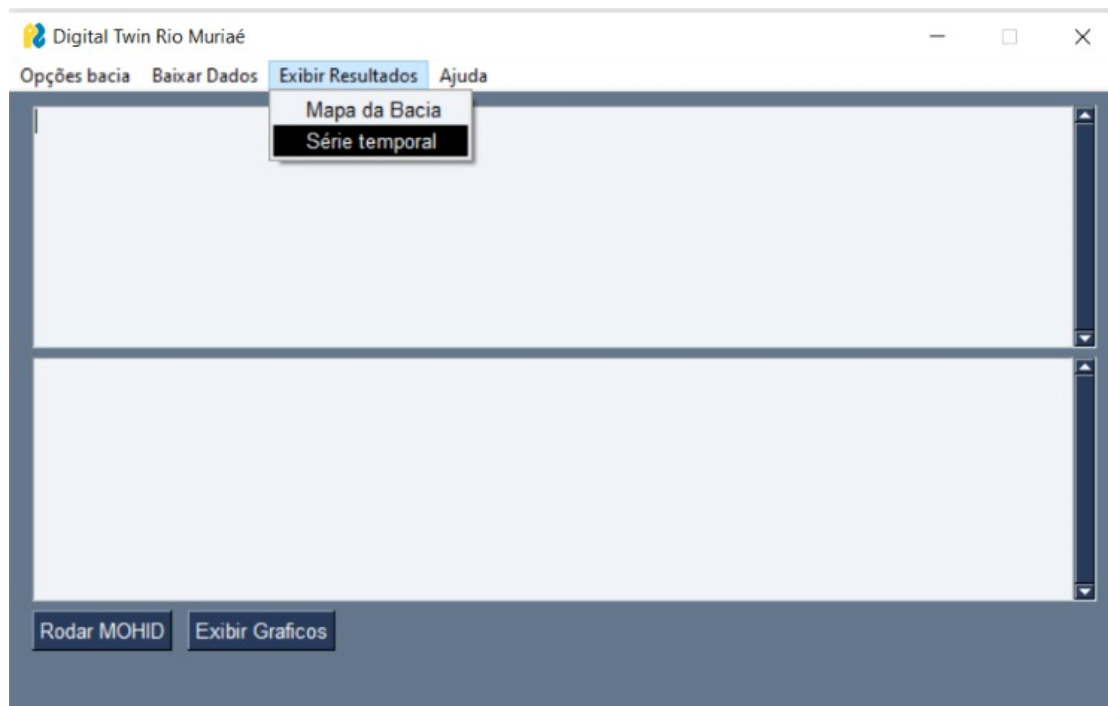


Figura 13 – Opções de escolha do usuário para visualização dos resultados.

Para apresentação dos resultados ao usuário em formato de gráfico, é necessária a escolha do ponto de saída dos mesmos que se gostaria de visualizar. Nesta versão da ferramenta, são disponibilizados resultados referentes ao município de Itaperuna/RJ, localizado mais ao centro da bacia, e ao município de Cardoso Moreira/RJ, localizado próximo ao exutório da bacia. A janela em que o usuário escolhe o arquivo em formato *.srn, referente ao município de interesse, e opta pelo tipo de gráfico que gostaria de visualizar está ilustrada na Fig. 14.

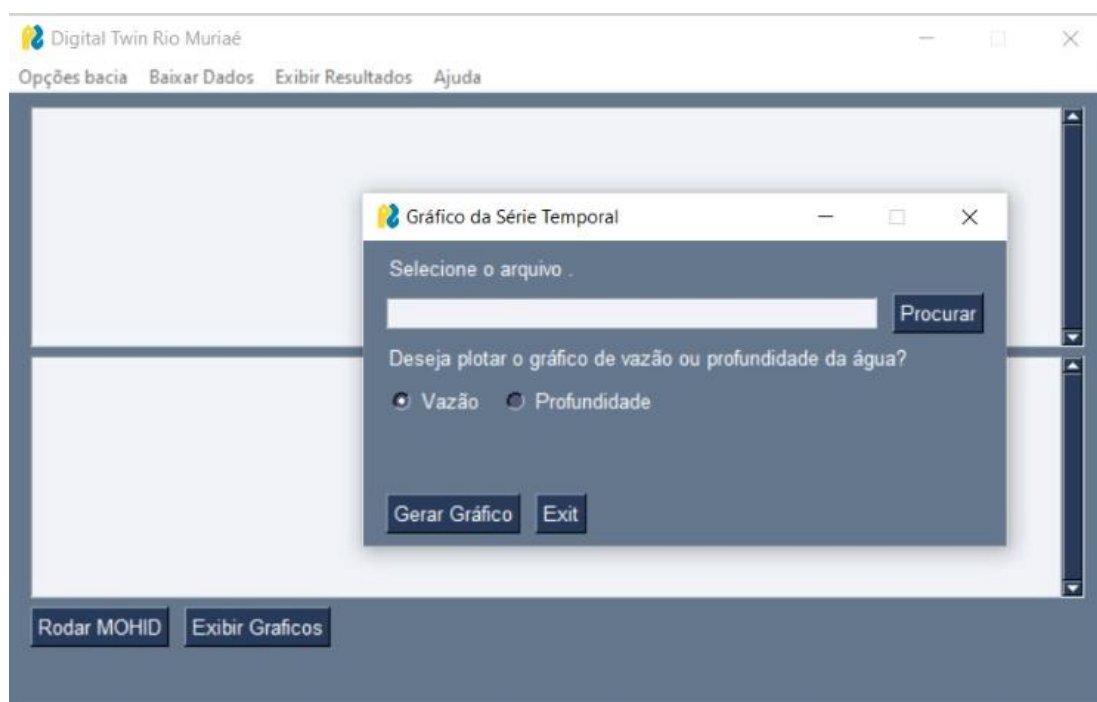


Figura 14 – Janela relacionada ao gráfico de resultado.

Esses arquivos da série temporal (*.srn) são gerados, automaticamente, após a finalização da execução da simulação na pasta “res” em que estão os arquivos referentes ao modelo. Além dos arquivos de série temporal, o usuário pode acessar nessa pasta o arquivo *RunOff.hdf5* com dados do escoamento superficial da bacia.

4. INTERFACE COM O USUÁRIO

A ferramenta DIGITAL TWIN DO RIO MURIAÉ foi desenvolvida com base em menu principal com abas de opções ao usuário a fim de facilitar a interação de forma intuitiva. O botão “Rodar MOHID” permite a execução da simulação conforme a definição do período desejado.

O menu principal disponibilizará as seguintes opções: “Opções bacia”, “Baixar Dados”, “Exibir Resultados” e “Ajuda”. A seleção de uma dessas opções abre um submenu ou uma janela para inserção de dados ou escolhas do usuário.

O menu “Ajuda” permite que o usuário acesse informações sobre a ferramenta no que diz respeito a instruções para utilização da mesma, os créditos do projeto e dados de versão, como pode ser visualizado na Fig. 15.

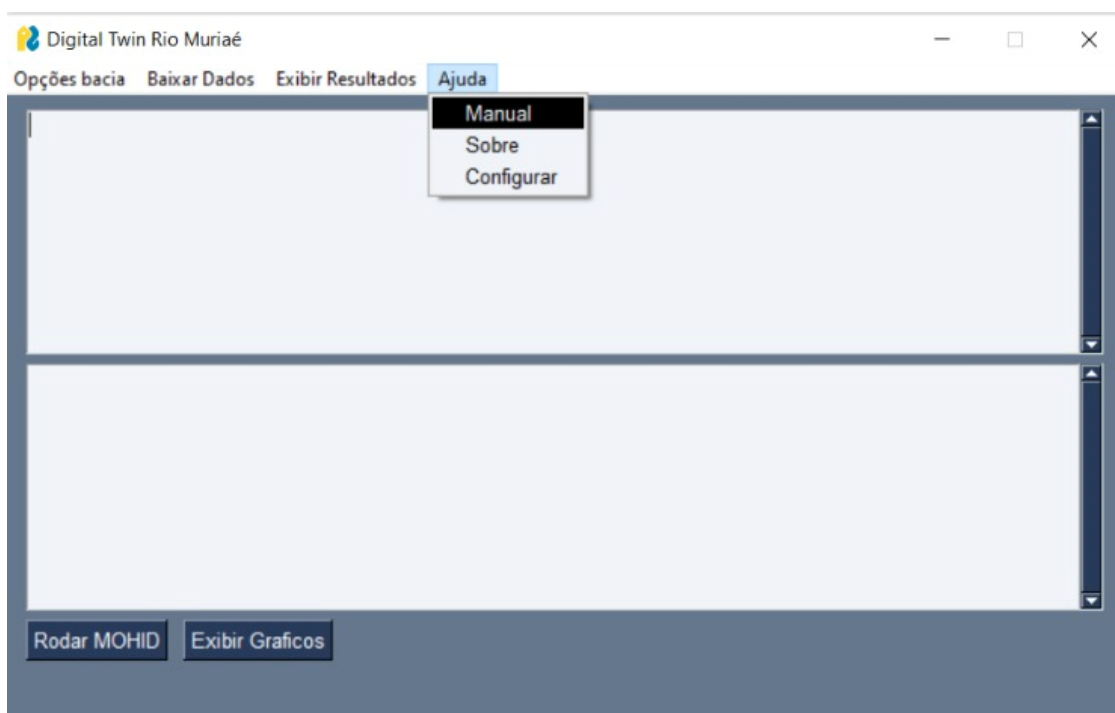


Figura 15 – Módulo “Ajuda” do DIGITAL TWIN DO RIO MURIAÉ.

Além dessas funcionalidades, o menu “Ajuda” apresenta no submenu a opção “Configurar” que permite ao usuário salvar as informações da simulação no caminho de interesse e fazer as configurações do arquivo base que o programa acessa para rodar as simulações. Essa janela é apresentada na Fig. 16. Esse arquivo base, chamado *configura.dat*, tem, também, espaço para inserção das senhas de acesso às API que devem ser solicitadas pelo usuário, como descrito anteriormente.

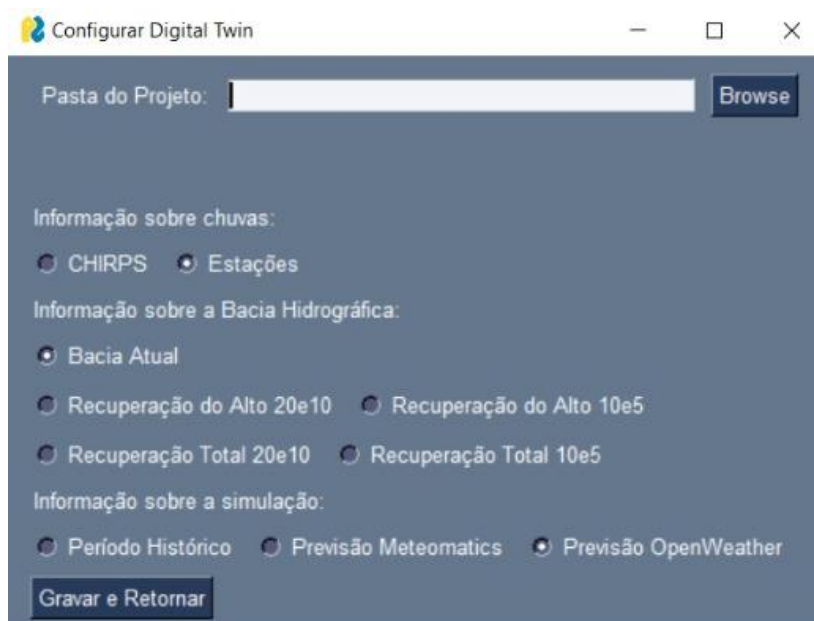


Figura 16 – Módulo “Configurar” do DIGITAL TWIN DO RIO MURIAÉ.

5. REFERÊNCIAS

- ARIYACHANDRA, M.R.M.F.; WEDAWATTA, G. Digital Twin Smart Cities for Disaster Risk Management: A Review of Evolving Concepts. **Sustainability**, v. 15, 2023.
- BLAINSKI, E.; ACOSTA, E.; NOGUEIRA, P. C. P. Calibração e validação do modelo SWAT para simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica do litoral norte catarinense. **Revista Ambiente e Água**. v. 12, n. 2, Taubaté – mar. / abr. 2017.
- BLAIR, G. S. Digital twins of the natural environment. **Patterns** 2, v. 2, 2021.
- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Nível 2 de Sub-bacias do Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Catálogo de Metadados da ANA. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/6141f37f-f15d-42e7-8495-ae9ddad0846f>>. Acesso em: 20 de maio de 2024.
- MOHIDWIKI. Disponível em: <wiki.mohid.com>. Acesso em: 15 de agosto de 2024.
- RANGEL, L. C.; LUGON JUNIOR, J.; SILVA NETO, A. J. Development of Digital Twin for the Muriaé river watershed/Brazil. **Revista Cereus**, v. 16, n. 3, out. 2024a.
- RANGEL, L. C.; LUGON JUNIOR, J.; SILVA NETO, A. J. Instrumentos de planejamento e gestão urbana para mitigação de inundações: Estudo de caso dos municípios fluminenses ao longo do rio Muriaé. **Revista Política e Planejamento Regional**, Rio de Janeiro – vol. 11, nº 2, maio – agosto de 2024, p. 181 – 203, 2024b.
- RODRIGUES, P. P. G. W. **MOHID: Descrição do MOHID**. Essentia Editora: Campos dos Goytacazes, 2012.
- SILVEIRA, A.; CAVALCANTI, A. A.; MENEZES FILHO, F. C. M.; SEVERINO, M. F. Calibração do modelo hidrológico SWMM para a bacia do ribeirão vai e volta - Poços de Caldas, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.27, n.1, jan/fev 2022, p. 55-65.

Tipo de produto: Software/aplicativo

Título do produto: DIGITAL TWIN DO RIO MURIAÉ

Nome dos autores AMBHIDRO: Larissa Carneiro Rangel, Jader Lugon Junior, Pâmela Thays Erthal, Lívia Martins da Costa e Antônio José da Silva Neto

Aderência da obra ao AMBHIDRO: Sim Não

Nível do impacto: Alto Médio Baixo

Demanda: Espontânea Por concorrência Contratada

Objetivo da Pesquisa: solução de um problema previamente definido

Área impactada pela produção: Econômico Ensino Saúde Social
 Ambiental Científico Aprendizagem

Tipo de impacto: Real Potencial

Descrição do tipo de Impacto: Minimizar os impactos das inundações em áreas urbanas

Replicabilidade: Sim Não

Abrangência Territorial: Internacional Nacional Regional

Complexidade: Alto Médio Baixo

Inovação: Alto teor inovativo Médio teor Baixo teor

Setor da sociedade beneficiado: Poder público, Comitês de Bacia e em geral

Vínculo com PDI da Instituição: Sim Não

Declarar vínculo do PTT com PDI: Está relacionado a uma das finalidades do IFF que é promover a produção, o desenvolvimento e a transferência de tecnologias sociais, notadamente as voltadas à preservação do meio ambiente e aos seguintes objetivos estratégicos do PDI vigente (2023.2-2028.1): OE5 - Produzir tecnologias e soluções inovadoras de acordo com as demandas da sociedade; OE15 - Assegurar práticas de gestão sustentáveis e eficientes dos recursos socioeconômicos e ambientais.

Houve fomento: Financiamento Cooperação Não houve

Há registro de propriedade intelectual: Sim Não

Código do Registro: BR 512024004171-0

Estágio da Tecnologia: Piloto Em teste Finalizado/Implantado

Há transferência de tecnologia: Sim Não

Observações quanto à inovação, relevância, impacto:

O Gêmeo Digital (*Digital Twin*) desenvolvido pode ser replicado em outras bacias hidrográficas, pela substituição do modelo previamente validado. Outros municípios, como Macaé e Nova Friburgo, apresentaram interesse em estudos sobre a ocorrência de inundação na

região, solicitando auxílio ao Instituto Federal Fluminense. Da mesma forma, a região da sub-bacia do rio Muriaé, laboratório de estudo desse programa, será beneficiada.

Link para o produto:

<https://busca.inpi.gov.br/pePI/servlet/ProgramaServletController?Action=detail&CodPedido=46384&SearchParameter=DIGITAL%20TWIN>