

JOSÉ RUI CASTRO DE SOUSA

**HYDROLOGY PLUS: SISTEMA COMPUTACIONAL  
PARA ESTUDOS METEOROLÓGICOS E  
HIDROLÓGICOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S725h  
2017  
Sousa, José Rui Castro de, 1985-  
Hydrology Plus : sistema computacional para estudos  
meteorológicos e hidrológicos / José Rui Castro de Sousa. –  
Viçosa, MG, 2017.  
xii, 131f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Fernando Falco Pruski.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f.122-131.

1. Climatologia. 2. Pluviometria. 3. Fluviometria.  
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia  
Agrícola. Programa de Pós-graduação em Meteorologia  
Aplicada. II. Título.

CDD 22 ed. 551.6


JOSÉ RUI CASTRO DE SOUSA

**HYDROLOGY PLUS: SISTEMA COMPUTACIONAL PARA ESTUDOS  
METEOROLÓGICOS E HIDROLÓGICOS**

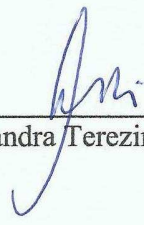
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Meteorologia Aplicada, para obtenção  
do título de *Doctor Scientiae*.


APROVADA: 15 de dezembro de 2017.

  
\_\_\_\_\_  
Sidney Sára Zanetti

  
\_\_\_\_\_  
Antônio Calazans Reis Miranda

  
\_\_\_\_\_  
Roberto Avelino Cecílio

  
\_\_\_\_\_  
Alessandra Terezinha Chaves Cotrim Reis

  
\_\_\_\_\_  
Fernando Falco Pruski  
(Orientador)

*Dedico este trabalho a minha esposa Bruna, minhas filhas Maria e Ana e aos outros que Deus confiar aos nossos cuidados.*

# Agradecimentos

Agradeço a Deus e a intercessão de Nossa Senhora que estiveram comigo em cada momento desta jornada, me iluminando e ajudando a seguir em frente.

À minha família, Bruna, Maria e Ana, que são sempre um aconchego e afago quando as coisas realmente apertam, e acima de tudo estiveram comigo neste tempo partilhando as alegrias e angústias deste desafio. Estiveram comigo em cada linha de código, cada rascunho de *software*, cada linha de texto, em cada empolgação e em cada desânimo. Sem vocês não teria graça nenhuma chegar neste momento!

Aos meus pais José Félix e Maria Aparecida, que me deram desde de criança todo amor, incentivo e puxões de orelha... Plantaram com carinho a educação em cada um de nós (filhos), obrigado. Este fruto é de vocês!

Aos meus irmãos, cunhados, sobrinhos, tios e primos todo apoio e incentivo.

Aos familiares da Bruna, na pessoa dos meus sogros, que além do incentivo e apoio, vez em sempre deram "aquela ajudinha" com os cuidados com a Maria, permitindo dedicar um pouco mais a este trabalho.

Agradeço aos professores do programa de Meteorologia Aplicada que dispuseram seus conhecimentos em favor do meu. Em especial, agradeço ao meu orientador Fernando Falco Pruski, que despendeu seu tempo em cada orientação, ensinado muito conteúdo, mas sobretudo sempre através de prazeroso e produtivo bate-papo. Muito obrigado professor Pruski, vou lembrar para sempre de nossa conversas!

Finalmente, agradeço aos amigos e amigas (maioria esmagadora) do GPRH, sempre com muita boa vontade em testar e validar os *softwares*, e com muito receio em falar "José Rui, está errado aqui, está com *bug* ali...", acreditem, sem esta ajuda eu não chegaria nem perto deste momento.

A todos vocês, minha gratidão.

# Resumo

SOUSA, José Rui Castro de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2017. **Hydrology Plus: sistema computacional para estudos meteorológicos e hidrológicos** Orientador: Fernando Falco Pruski.

Devido a carência de sistemas computacionais que auxiliem no estudo e análise de séries temporais de dados pluviométricos e fluviométricos, a plataforma Hydrology Plus, composta por seus cinco *softwares*: *Preliminary Analysis*, *Rainfall*, *Streamflow*, *Ottocode* e *Webservice*, visa dar suporte a engenheiros, meteorologistas e hidrologistas de forma simples e eficaz. O *software WebService*, é capaz de interagir com o sistema Hidroweb da ANA e efetuar *download(s)* das séries históricas de vazão e precipitação. Além disso, sua base de dados pode ser sincronizada com o repositório nacional, e atualizado a qualquer momento, garantindo seu funcionamento por muito tempo. O *software Preliminary Analysis* tem por principal objetivo o tratamento preliminar de dados históricos advindos da base de dados da ANA - Agência Nacional de Águas (do projeto Hidroweb), permitindo ao usuário analisar o comportamento de uma estação pluviométrica ou fluviométrica em comparação com outras estações. O *software* possui o módulo para análise *box plot*, o módulo para estudo da estacionariedade e o módulo de descarte de dados; além de diferentes formas de visualização através do módulo *View*. O módulo de descarte de dados é utilizado para o tratamento das séries históricas, e pode ser executado de forma singular, estação por estação, ou de forma coletiva. Permite ainda que o usuário efetue a alteração do ano hidrológico e o tratamento dos registros, tanto na base anual quanto na base mensal. O *software Rainfall*, particularmente voltado para análise de dados pluviométricos, oferece ao usuário o módulo para estimativa da precipitação máxima associada a diferentes períodos de retorno; o módulo de obtenção das precipitações médias (anual, mensal e longo termo); o módulo responsável pelo preenchimento de falhas em base mensal e anual; e, o gerador de séries sintéticas de precipitação. O *software Streamflow*, com objetivo específico de trabalhar com série históricas de vazões, oferece ao usuário o módulo de estimativa das vazões mínimas, tanto na base anual quanto na base mensal, ambos associados a diferentes períodos de retorno; o módulo de obtenção da curva de permanência para todo o período de dados e em base anual; o cálculo das médias anuais, mensais e de longa duração; e, o módulo para estimativa das vazões máximas para diferentes períodos de retorno. E finalmente o *software Ottocode* foi desenvolvido para efetuar a ottocodificação dos trechos de rio de uma bacia hidrográfica representada por Modelos Digitais de Elevação. Este sistema também obtém algumas características morfométricas da hidrografia como comprimento do trecho de rio, distância até foz, entre outros. Seus resultados são

exportados para imagens JPG e ASCII, podendo ser importado por outros SIG's. Portanto, a plataforma *Hydrology Plus* surge para solucionar alguns dos principais problemas ao se trabalhar com séries históricas fluviométricas e pluviométricas; e o processo de otocodificação em terrenos representados por Modelos Digitais de Elevação. A plataforma pode ser executada tanto em sistemas operacionais *Windows*, *Linux*, *MAC OS*, ou quaisquer outros que possuam a *Java Runtime Enviromenment*.

# Abstract

SOUSA, José Rui Castro de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2017. **Hydrology Plus: computacional system to study meteorological and hydrological** Adviser: Fernando Falco Pruski.

Due to the lack of computational systems that support the study and analysis of rainfall and fluviometric time series, the *Hydrology Plus*, consisting of its five software: *Preliminary Analysis*, *Rainfall*, *Streamflow*, *Ottocode* and *Webservice*, aims to support engineers, meteorologists and hydrologists in a simple and effective way. The *WebService* software, is capable of interacting with ANA's Hidroweb system and downloading historical series of flow and precipitation. In addition, its database can be synchronized with the national repository and updated at any time, ensuring its operation for a long time. The main objective of the *Preliminary Analysis* is the preliminary treatment of historical data from ANA's National Water Agency database (from the Hidroweb project), allowing users to analyze the behavior of a rainfall or fluviometric station compared to other stations. The software has the box plot analysis module, the stationarity study module and the data discard module; as well as different forms of visualization through the View module. The data discard module is used for the treatment of historical series, and can be executed singularly, season by season, or collectively. It also allows the user to change the hydrological year and the treatment of the records, both on an annual basis and on a monthly basis. *Rainfall* software, particularly aimed at rainfall data analysis, offers the user the module to estimate the maximum precipitation associated with different return periods; the medium precipitation module (annual, monthly and long term); the module responsible for completing failures on a monthly and annual basis; and, the synthetic precipitation series generator. *Streamflow* software, with the specific objective of working with historical streamflow series, provides the user with the minimum flow estimation module, both on an annual basis and on a monthly basis, both associated with different return periods; the module for obtaining the permanence curve for the entire data period and on an annual basis; the calculation of annual, monthly and long-term averages, and, the module for estimating maximum flows for different return periods. And finally, the *Ottocode* software was developed to perform the ottocoding of the river stretches of a river basin represented by Digital Elevation Models. This system also obtains some morphometric characteristics of the hydrography as length of the river stretch, distance to mouth, among others. Its results are exported to JPG and ASCII images and can be imported by other GIS. Therefore, the Hydrology Plus platform arises to solve some of the main problems when working with historical fluviometric and rainfall series ; and the ottocoding

process in terrains represented by Digital Elevation Models. The platform can be run on Windows, Linux, Mac OS, or any other operating system running the Java Runtime Environment.

# Lista de figuras

Figura 1 – Modelos de representação . . . . .	20
Figura 2 – Modelos digital de elevação . . . . .	20
Figura 3 – Direcionamento de fluxo . . . . .	22
Figura 4 – MDE, fosso e platô . . . . .	23
Figura 5 – Preenchimento de fosso . . . . .	23
Figura 6 – Fluxograma macro da plataforma desenvolvida. . . . .	28
Figura 7 – Metodologia de obtenção do gráfico box plot. . . . .	32
Figura 8 – Cálculo das médias móveis com janela de quatro dias consecutivos. . . . .	41
Figura 9 – Esquema da subdivisão de uma bacia pela metodologia de Otto Pfafstetter. Fonte: Buarque et al. (2008). . . . .	49
Figura 10 – Ottocodificação (a) Continental América do Sul. (b) Nível 1 - Região hidrográfica 7. . . . .	51
Figura 11 – Fluxograma do Web Service. . . . .	52
Figura 12 – (a) Tela do Web Service para estações fluviométricas. (b) Tela do Web Service para estações Pluviométricas. . . . .	53
Figura 13 – <i>Download</i> de múltiplas estações. (a) Lista contínua (b) Lista discreta. . . . .	54
Figura 14 – Tela inicial da plataforma com os quatro sistemas funcionando de forma integrada. . . . .	55
Figura 15 – Tela inicial do <i>software Preliminary Analysis</i> . . . . .	55
Figura 16 – Módulo de gerenciamento de projetos. . . . .	56
Figura 17 – Módulo de gerenciamento de projetos. . . . .	56
Figura 18 – Diálogo para confirmação de exclusão de projeto. . . . .	57
Figura 19 – Filtro dinâmico dos projetos existentes. . . . .	58
Figura 20 – Projeto do tipo <i>rainfall</i> aberto no <i>software "Preliminary analysis"</i> . . . . .	59
Figura 21 – (a) <i>Frame</i> das estações abertas para projeto <i>Streamflow</i> . (b) <i>Frame</i> das estações abertas para projeto <i>Rainfall</i> . . . . .	60
Figura 22 – Caixa de diálogo para abrir uma estação fluviométrica. . . . .	61
Figura 23 – Diálogo para definição da data de <i>download</i> . . . . .	62
Figura 24 – Caixa de diálogo para escolha dos arquivos(".txt") referentes as séries históricas. . . . .	62
Figura 25 – <i>Frame</i> de dados. . . . .	63
Figura 26 – Aba <i>Data Availability</i> . . . . .	65
Figura 27 – Legenda de disponibilidade de dados. . . . .	65
Figura 28 – Visão da aba <i>Processed</i> . . . . .	66
Figura 29 – Abstract da estação pluviométrica 01546005. . . . .	67

Figura 30	–(a) Hidrograma das estações fluviométricas escolhidas. (b) Ietograma das estações pluviométricas escolhidas. . . . .	67
Figura 31	–Dados apresentados na base mensal na forma meses por ano, (a) Checkbox selecionado (b) Checkbox não selecionado. . . . .	68
Figura 32	–Dados apresentados na base mensal na forma mês a mês. . . . .	69
Figura 33	–Dados apresentados na base anual na forma ano a ano. . . . .	71
Figura 34	–Tela de descarte de dados na base anual. . . . .	71
Figura 35	–Tela de descarte de dados na base mensal. . . . .	73
Figura 36	–Diálogo para confirmação da operação. Esta mudança desfaz todo o descarte feito anteriormente. . . . .	73
Figura 37	–Efetivação da alteração do início do ano hidrológico para o mês de outubro e aplicação do descarte para 5%. . . . .	74
Figura 38	–Estrutura da aba <i>Station</i> após alteração do ano hidrológico. . . . .	74
Figura 39	–Módulo de análise <i>box plot</i> . . . . .	75
Figura 40	–Módulo análise da estacionariedade para uma determinada estação. . . . .	76
Figura 41	–Módulo análise da estacionariedade com escolha customizada dos períodos. . . . .	78
Figura 42	–Módulo View, aba Standard view. . . . .	79
Figura 43	–Módulo View, aba Detailed view. . . . .	79
Figura 44	–Classificação dos anos das estações de acordo com os percentuais de disponibilidade e falha. . . . .	80
Figura 45	–Visualização na forma de dias por mês/ano. . . . .	81
Figura 46	–Visualização linear da estação, no formato dd/mês/aaaa. . . . .	82
Figura 47	–Tela principal do módulo Rainfall. . . . .	83
Figura 48	–Fluxograma do módulo Precipitação Máxima. . . . .	84
Figura 49	–Tela do módulo Precipitações Máximas, aba <i>Annual maximums</i> . . . . .	84
Figura 50	–Tela do módulo Vazões Máximas, aba <i>Statistical analysis</i> . . . . .	85
Figura 51	–Tela do módulo Precipitação Máximas, aba <i>Statistical analysis</i> para, aba <i>Distribution charts</i> . . . . .	86
Figura 52	–Fluxograma do módulo Precipitação Média. . . . .	87
Figura 53	–Tela do módulo precipitações médias. . . . .	88
Figura 54	–Tela do módulo Precipitações médias, aba <i>Monthly averages</i> . . . . .	89
Figura 55	–Tela do módulo Precipitações médias, aba <i>Rainfall average long-term</i> . . . . .	89
Figura 56	–Fluxograma do módulo Preenchimento de falhas Pluviométricas. . . . .	90
Figura 57	–Tela principal do módulo Fill fails. . . . .	91
Figura 58	–Diálogo de confirmação de execução. . . . .	92
Figura 59	–Tela do módulo Fill fails, após preenchimento da estação 01546007. . . . .	93
Figura 60	–Fluxograma do módulo geração de série sintética. . . . .	94
Figura 61	–Tela principal do módulo Synthetic serie. . . . .	95

Figura 62	–Tela principal do módulo Synthetic serie após geração da série. . . . .	96
Figura 63	–Tela do módulo Synthetic serie, comparativo dos resultados. . . . .	97
Figura 64	–Tela principal do módulo Streamflow. . . . .	98
Figura 65	–Fluxograma do módulo Vazões Mínimas. . . . .	99
Figura 66	–(a) Tela do módulo Vazões Mínimas, aba <i>Annual minimis</i> para base anual. (b) Tela do módulo Vazões Mínimas, aba <i>Annual minimis</i> para base mensal. . . . .	100
Figura 67	–Tela do módulo Vazões Mínimas, aba <i>Statistical analysis</i> para base anual. . . . .	101
Figura 68	–Tela do módulo Vazões Mínimas, aba <i>Statistical analysis</i> para base anual, aba <i>Distribution charts</i> . . . . .	102
Figura 69	–Fluxograma do módulo Vazões Máximas. . . . .	103
Figura 70	–Tela do módulo Vazões Máximas, aba <i>Annual maximums</i> . . . . .	104
Figura 71	–Tela do módulo Vazões Máximas, aba <i>Statistical analysis</i> . . . . .	104
Figura 72	–Tela do módulo Vazões Máximas, aba <i>Statistical analysis</i> para, aba <i>Distribution charts</i> . . . . .	105
Figura 73	–Fluxograma do módulo das Vazões Médias. . . . .	106
Figura 74	–Tela do módulo Vazões médias. . . . .	107
Figura 75	–Tela do módulo Vazões médias, aba <i>Monthly averages</i> . . . . .	108
Figura 76	–Tela do módulo Vazões médias, aba <i>Qmld - month to month</i> . . . . .	108
Figura 77	–Fluxograma do módulo Curva de Permanência. . . . .	109
Figura 78	–Tela do módulo Curva de Permanência, aba <i>Frequence analysis</i> . . . . .	110
Figura 79	–Tela do módulo Curva de Permanência, aba <i>Streamflow vs Permanence</i> . . . . .	111
Figura 80	–Tela do módulo Curva de Permanência, aba <i>Streamflow vs Permanence</i> , subaba <i>Annual</i> . . . . .	111
Figura 81	–Tela do módulo Curva de Permanência, aba <i>Streamflow vs Permanence</i> , subaba <i>Monthly</i> . . . . .	112
Figura 82	–Tela do módulo Curva de Permanência, aba <i>Chart</i> . . . . .	113
Figura 83	–Tela de gerenciamento de projetos do <i>software Ottocode</i> . . . . .	114
Figura 84	–Tela principal do módulo Ottocode com o projeto <i>testeOtto</i> aberto. . . . .	115
Figura 85	–Diálogo para escolha dos mapas nos diretórios do computador. . . . .	115
Figura 86	–Tela do <i>software Ottocode</i> renderizando o Modelo Digital de Elevação. . . . .	116
Figura 87	–Tela do <i>software Ottocode</i> renderizando o Modelo Digital de Elevação. . . . .	117
Figura 88	–Diálogo para informar ottocodigo do nível anterior ao requerido. . . . .	117
Figura 89	–Rederização da ottobacia 7642. . . . .	118
Figura 90	–Rederização(Zoom in) da ottobacia 7642. . . . .	119
Figura 91	–Resumo do tempo computacional gasto no projeto <i>TesteOtto</i> . . . . .	120

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Objetivo</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Revisão de literatura</b>	<b>5</b>
3.1	Legislação brasileira e gestão dos recursos hídricos	5
3.2	Pré-processamento	6
3.2.1	Estacionariedade	6
3.3	Análise pluviométrica	8
3.3.1	Geração de séries sintéticas de precipitação	9
3.4	Análise fluviométrica	14
3.5	Distribuição de probabilidade	17
3.6	Ottocodificação	18
3.6.1	Formas de representação de terrenos	20
3.6.2	Rede de drenagem	21
3.7	Importância dos <i>softwares</i> no processo de gestão hídrica	24
<b>4</b>	<b>Metodologia</b>	<b>27</b>
4.1	Desenvolvimento do <i>software</i>	27
4.2	Integração com Hidroweb	28
4.3	Pré-processamento	29
4.3.1	Tratamento prévio de séries fluviométricas e pluviométricas	29
4.3.1.1	Descartes	29
4.3.1.2	Ano hidrológico	30
4.3.2	Box plot	31
4.3.3	Estacionariedade	34
4.4	Análise pluviométrica	35
4.4.1	Estimativa das precipitações médias	35
4.4.2	Estimativa das precipitações máximas	36
4.4.3	Geração de série sintética de precipitação	37
4.4.4	Preenchimento de falhas	39
4.5	Análise fluviométrica	40
4.5.1	Estimativa da Vazão Mínima	40
4.5.2	Estimativa da Vazões Máximas	42
4.5.3	Estimativa da Vazões médias	43
4.5.4	Curva de permanência	43

4.6	Análise estatística . . . . .	44
4.6.1	Distribuição Gumbel . . . . .	45
4.6.2	Distribuição Log-Normal tipo II . . . . .	46
4.6.3	Distribuição Log-Normal tipo III . . . . .	47
4.6.4	Distribuição Pearson tipo III . . . . .	47
4.6.5	Distribuição Log-Pearson tipo III . . . . .	47
4.6.6	Distribuição Weibull . . . . .	48
4.6.7	Intervalo de confiança . . . . .	48
4.7	Ottocodificação . . . . .	49
<b>5</b>	<b>Resultados . . . . .</b>	<b>52</b>
5.1	Integração com Hidroweb . . . . .	52
5.2	Pré-processamento . . . . .	54
5.2.1	Gerenciamento de projetos . . . . .	54
5.2.2	Análise dos dados . . . . .	58
5.2.2.1	Base de Dados de Trabalho (BDT) . . . . .	59
5.2.2.2	Adicionar e remover estações . . . . .	60
5.2.2.3	Aba Station . . . . .	63
5.2.2.4	Aba monthly base . . . . .	68
5.2.2.5	Aba annual base . . . . .	70
5.2.3	Descartes . . . . .	70
5.2.3.1	Ano hidrológico . . . . .	73
5.2.4	Box plot . . . . .	75
5.2.5	Estacionariedade . . . . .	76
5.2.6	View . . . . .	78
5.3	Análise pluviométrica . . . . .	81
5.3.1	Precipitação Máxima . . . . .	83
5.3.2	Precipitação Média . . . . .	86
5.3.3	Fill fails . . . . .	90
5.3.4	Synthetic serie . . . . .	93
5.4	Análise fluviométrica . . . . .	97
5.4.1	Vazão Mínima . . . . .	98
5.4.2	Vazão Máxima . . . . .	103
5.4.3	Vazão Média . . . . .	106
5.4.4	Curva de Permanência . . . . .	109
5.5	Ottocodificação . . . . .	113
<b>6</b>	<b>Conclusão . . . . .</b>	<b>121</b>
	<b>Referências . . . . .</b>	<b>122</b>

# 1 Introdução

Segundo o relatório anual das Nações Unidas, em 2050, mais de 45% da população mundial não contará com a quantidade mínima per capita de água para as necessidades básicas. Além disso, estima-se que haverá um aumento de 40% na demanda total de água, agravando o cenário de escassez hídrica (WWAP-UNESCO, 2015).

Em todo o planeta, os recursos hídricos estão sob ameaça. Melhorar sua gestão para a presente e futuras gerações tem sido um desafio. Desta forma, o conhecimento da disponibilidade hídrica em uma bacia hidrográfica é fundamental para aplicação de políticas públicas para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos.

Desde a década de 30 vem se pensando em políticas públicas, com a criação do Código das Águas que vai de encontro a necessidade de gestão e legislação dos recursos hídricos. Com o passar dos anos, mesmo sem largos avanços é notório o movimento que vem sendo feito para se cuidar mais efetivamente dos recursos hídricos, que por sua vez são viabilizados por meio de sistemas computacionais direcionados para este problema.

No Brasil, este tipo de estudo tem como base os principais dados históricos diários de vazão e precipitação advindos das estações fluviométricas e pluviométricas, disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA) por meio do sistema Hidroweb. A partir da compilação (manual ou automática) destes dados, torna-se possível estudar a disponibilidade hídrica por meio de procedimentos matemáticos e estatísticos aplicados às séries históricas. Para obter estes dados o usuário deve acessar, escolher e efetuar o *download* de estações, sem burocracia alguma. Tarefas desta natureza, podem consumir grande quantidade de tempo devido à ampla base de dados, abrindo espaço para criação de *softwares* capazes de interagirem com o repositório de dados nacional e otimizarem o(s) *download(s)*.

Um aspecto negativo que tem influência direta nas pesquisas sobre disponibilidade hídrica é a presença de falhas nas séries históricas, limitando a aplicação dos procedimentos matemáticos e estatísticos e calibrações dos modelos. Em muitos locais, não há dados do regime hidrológico em quantidade suficiente, e não raras são as vezes em que não há nenhum dado disponível. Esta realidade leva os técnicos e gestores a contornarem esta insuficiência por meio do tratamento prévio dos dados.

Uma boa alternativa é a criação de soluções computacionais que auxiliem na tabulação dos dados da série, na validação de sua consistência, e na identificação automática dos pontos que possuem falhas, propiciando aos engenheiros e meteorologistas atuarem de forma eficiente no descarte de dados, no preenchimento de falhas, na criação de dados sintéticos, na análise box plot, entre outras.

Dentre as informações necessárias para compreensão do cenário hidrológico estão as vazões mínimas, médias e máximas, a curva de permanência, o regime de chuvas e sua distribuição. Em linhas gerais, as vazões mínimas e a curva de permanência estão diretamente relacionadas ao conhecimento da disponibilidade hídrica de uma região, sendo também valores de referência para o processo outorga; os valores médios de vazão, junto com a curva de regularização descrevem o potencial de regularização da vazão de um rio; o conhecimento das precipitações máximas e médias afetam rigorosamente a segurança e o bem estar da população quando mal estimados. Diante disso é essencial assegurar a precisão e eficiência nos cálculos e estimativas por meio de rotinas computacionais bem definidas, uma vez que cada uma destas variáveis hidrológicas são obtidas por meio de métodos que analisam toda a extensão da série, dia após dia, evidenciando o considerável gasto de tempo no cálculo e a sua propensão a erros, caso tenham que ser obtidas manualmente.

O grande volume de dados disponíveis (Hidroweb), a complexidade intrínseca de se trabalhar com séries históricas, o desafio de manipular concomitantemente dados fluviométricos e pluviométricos, a dificuldade apresentada pelos consideráveis níveis de falhas das estações, a vasta extensão da hidrografia nacional e o aumento da atenção da sociedade sobre a gestão dos recursos naturais, fazem com que os órgãos gestores ampliem seus interesses para o desenvolvimento de *softwares*. Interesse justificado pela capacidade das ferramentas computacionais realizarem consultas e análises complexas nos banco de dados, executarem simulações, construïrem cenários hipotéticos, gerarem dados sintéticos, extrapolar resultados de variáveis estatísticas, sobretudo, com alto grau de confiabilidade e eficiência.

Deste modo, o presente trabalho está baseado na hipótese de que a análises de séries históricas de vazões e de chuva por meio de rotinas computacionais que as manipulem de forma integrada, as obtenha junto ao Hidroweb de forma automática, efetue o tratamento de falhas, estime as variáveis hidrológicas, estude a estacionariedade, aliada a promoção de soluções para os problemas da indisponibilidade de dados em seções não monitoradas; são capazes de melhorar e otimizar a disponibilidade hídrica e consequentemente do planejamento e gestão dos recursos hídricos.

Portanto, ao dar suporte as análises de estações fluviométricas e pluviométricas inova os demais *softwares* que limitam suas aplicações aos dados de vazão. Outro fator positivo do *Hydrology plus*, não encontrado em *softwares* desta natureza, é sua aptidão a ser executado em qualquer sistema operacional que possua a *Java Runtime Environment*. Sobretudo, a concentração das mais diversas funcionalidades num mesmo lugar e o pioneirismo na obtenção de índices como: precipitação máxima associada a um período de retorno; vazão mínima mensal associada a um período de retorno; análise *box plot* através da média de longo termo; curva de permanência ano a ano; e, a ottocodificação de trechos

de rios representados por MDE's.

## 2 Objetivo

Criar uma plataforma capaz de conjugar análises e tratar dados históricos de vazão e precipitação de forma a otimizar o processo de estimativa de variáveis hidrológicas e meteorológicas, e que possua as seguintes funcionalidades:

- promover a integração ao sistema Hidroweb da ANA;
- realizar o tratamento prévio de séries históricas de precipitação e vazão;
- efetuar a análise dos dados pluviométricos, estimar as precipitações médias e máximas, preencher falhas e gerar séries sintéticas, de forma simultânea para mais de uma estação pluviométrica;
- proceder a análise dos dados fluviométricos e permitir a estimativa das vazões máxima, média e mínima (anuais e mensais), de forma simultânea para mais de uma estação pluviométrica;
- realizar a otocodificação nos trechos de rio de uma determinada bacia representada por *raster*.

## 3 Revisão de literatura

### 3.1 Legislação brasileira e gestão dos recursos hídricos

Em 1934, foi publicado o Decreto Federal Lei N° 24.643, denominado Código de Águas e, a partir de então, o Governo vem regimentando o uso da água no país (BRASIL, 1934). Esta foi uma legislação fundamental pois abordava pontos relevantes como a propriedade das águas, tanto fluviais quanto pluviais e subterrâneas, além de introduzir conceitos de concessão de direito de uso e noções ambientais.

Diante das limitações do Código de Águas, com o passar do tempo, diversas questões foram sendo levantadas e em 1988 ela passou por ajustes, conforme o Inciso XIX, do Artigo 21 da Constituição Federal, que determina como responsabilidade da União instituir o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos além especificar os critérios de outorga de direitos de seu uso (BRASIL, 1988).

Onze anos mais tarde, em Janeiro de 1997, foi aprovada e sancionada a Lei No. 9.433, que instituiu de fato a Política Nacional de Recursos Hídricos. Entre os instrumentos de gestão previstos nesta lei se destaca o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SISRH), que é um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e sua gestão (BRASIL, 1997).

Ainda nesta direção no ano 2000 é aprovada e sancionada a Lei Federal N° 9.984, instituindo a Agência Nacional de Águas (ANA) conferindo a ela responsabilidade de organizar, implantar e gerir o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (SISRH). E dado a eficiência e robustez, o SISRH vem sendo viabilizado por meios de sistemas computacionais capazes de promover uma gestão compartilhada e participativa. A este conjunto de soluções computacionais foi dado o nome Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e desde então várias pesquisas e estudos complementares vem sendo desenvolvidas BRASIL (1997), Sousa et al. (2009), Sousa (2013), Oliveira, Pruski e Nunes (2013), Bof et al. (2013), Moreira (2005), Rodrigues (2013).

Neste sentido, a gestão de recursos hídricos, como consequência da legislação federal e estadual, buscam garantir a disponibilidade hídrica, em termos quantitativos e qualitativos, para os diversos segmentos que demandam o uso da água. E portanto, cada vez mais, as novas tecnologias vão oferecer suporte à gestão integrada dos recursos hídricos.

## 3.2 Pré-processamento

Segundo Pinto e Naghettini (2007), os fenômenos hidrológicos apresentam uma aleatoriedade natural uma vez que são resultado da interação entre diversos fatores das fases do ciclo hidrológico. Assim, o passo inicial nestes estudos é obter e efetuar o pré-processamento dos dados de uma amostra de dados hidrológicos. Na busca por padrões e evidências a organização é fator preponderante, se caracterizando uma aplicação da estatística descritiva, para que etapas seguintes, como por exemplo, aplicação da teoria de probabilidades e dos métodos de inferência estatística sejam possíveis de serem aplicados.

O pré-processamento de séries históricas pode ser entendido como uma forma dos técnicos e gestores entenderem as características empíricas essenciais do padrão de distribuição de uma variável hidrológica e contornarem a presença de falhas existentes nas séries de dados (PINTO; NAGHETTINI, 2007; GOSWAMI; O'CONNOR; BHATTARAI, 2007).

As falhas nas séries históricas limitam a aplicação dos procedimentos matemáticos, estatísticos e calibrações dos modelos (JAVEED; APOORVA, 2015; POST; JONES; GRANT, 1998; CHIANG; TSAY; NIX, 2002; WURBS, 2005). Neste sentido, a criação de soluções computacionais que auxiliem na tabulação dos dados da série, validação de sua consistência, e na identificação automática dos pontos que possuem falhas, propiciará aos profissionais da hidrologia e meteorologia uma atuação mais eficiente no tratamento deste problema (descarte de dados, preenchimento de falhas, dados sintéticos, análise *box plot*, análise de estacionariedade).

### 3.2.1 Estacionariedade

A análise da estacionariedade vem sendo amplamente aplicada em estudos hidrológicos baseados em séries históricas de dados (ULIANA et al., 2015; KRUGER; KAVISKI; MULLER, 1998; PEREIRA, 2004; WEI; CHANG; DAI, 2014; PINTO; NAGHETTINI, 2007), com o intuito de entender melhor as variações do comportamento de variáveis hidrológicas. Alguns dos fatores que podem afetar este regime são: a construção de reservatórios à montante da estação fluviométrica; atividades agrícolas de irrigação; alterações climáticas da região; entre outros (WEI; CHANG; DAI, 2014; PINTO; NAGHETTINI, 2007).

Além de verificar se a não estacionariedade de uma série hidrológica está relacionada com variações do clima ou alterações antrópicas, a análise de tendência tem papel fundamental em diversas aplicações de hidrologia estatística, visto que as séries hidrológicas devem ter como pré-requisito os atributos de estacionariedade e homogeneidade (PINTO; NAGHETTINI, 2007).

A análise da estacionariedade (LEHMANN, 1975; PINTO; NAGHETTINI, 2007;

WANG; GELDER; VRIJLING, 2017) verifica por meio de testes paramétricos (KOLMOGOROV, 1941; SMIRNOV, 1948; MELESSE et al., 2009; JANTSCHI; BOLBOACA, 2009) ou não-paramétricos (MANN, 1945; KENDALL, 1948), o comportamento da média e da variância de dois sub-períodos distintos de uma série hidrológica. Os testes paramétricos tem como premissa básica a aderência a normalidade enquanto o segundo não tem esta regra como obrigatória. Por não possuir requisitos tão fortes, os testes não-paramétricos são menos sensíveis que os paramétricos (PINTO; NAGHETTINI, 2007).

Ao optar-se pelos testes paramétricos para aplicação dos testes a série deve se ajustar à distribuição normal (TUCCI, 2002). Para esta identificação podem-se aplicar diversos testes, dentre eles: o teste de Kolmogorov-Smirnov (KOLMOGOROV, 1941; SMIRNOV, 1948; CHAKRAVARTI; LAHA, 1967; MELESSE et al., 2009; JANTSCHI; BOLBOACA, 2009) com correção de Lilliefors e o teste de Shapiro-Wilks (SHAPIRO; WILK, 1965).

Em seguida verifica-se por meio dos testes t Student e Fisher o comportamento da média e da variância de dois sub-períodos distintos de uma série hidrológica. O teste de Fisher é aplicado para analisar a identidade de variância, enquanto que o teste t Student é utilizado para verificar a homogeneidade da média, utilizando séries amostrais que pertençam à populações normais e sejam independentes. O nível de significância determina o risco admitido no caso da rejeição de uma hipótese correta, ou seja, da igualdade eventual das variâncias e das médias, respectivamente (PINTO; NAGHETTINI, 2007).

Caso seja observado que os dados hidrológicos não se ajustam à distribuição normal, uma boa alternativa é a aplicação de testes não-paramétricos (LEHMANN, 1975; PINTO; NAGHETTINI, 2007). De acordo com Wang, Gelder e Vrijling (2017), o teste de tendência para séries anuais promove uma visão global da mudança nos processos de vazão, por exemplo. Dentre eles, destacam-se consagrados testes não-paramétricos como o de Mann Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1948) e Spearman Rho (LEHMANN, 1975).

O teste de Mann Kendall consiste em um teste estatístico não-paramétrico aplicado na identificação de tendências significativas de longo prazo, é comumente utilizado em análises de séries hidrometeorológicas, demonstrando bastante robustez quanto aos desvios de normalidade e não-estacionalidade dos valores de uma série (YUE; PILON; CAVADIAS, 2002; SANCHES; VERDUM; FISCH, 2013; AHMAD et al., 2015).

O interesse em estudos de tendência dos componentes do ciclo hidrológico tem aumentado devido às controvérsias sobre as mudanças climáticas. De acordo com Joseph, Falcon e Sharif (2012), a identificação de tendências sazonais de precipitação e vazão contribui para a compreensão da variabilidade climática global e é essencial para o desenvolvimento de modelos hidrológicos, previsão hidrológica e gestão dos recursos hídricos.

### 3.3 Análise pluviométrica

A precipitação pode ser definida como toda água, na forma líquida ou sólida, oriunda da atmosfera, que precipita sobre a superfície terrestre.

Para o entendimento da dinâmica da água no meio ambiente, é fundamental a compreensão do ciclo hidrológico, sendo que o principal componente de entrada de água no ciclo hidrológico é a precipitação, com maior destaque para a precipitação pluvial (CARVALHO et al., 2013).

O monitoramento da precipitação pluvial no Brasil ocorre, primordialmente, por intermédio de estações terrestres convencionais que integram as redes de monitoramento dos principais centros de pesquisa do país (NETO, 2012). No entanto, os postos de monitoramento existentes são considerados insuficientes, devido à extensão territorial do país (MELLO; SILVA, 2013).

Para estudos climáticos de uma determinada região, é necessário o emprego de séries temporais de dados, as quais são fornecidas por estações pluviométricas ou pluviográficas, sendo os registros de chuvas coletadas diariamente, fornecidos gratuitamente pelo Hidroweb-ANA. Os dados de precipitações estão restritos aos locais monitorados, sendo necessária métodos de preenchimento ou a aplicação de métodos estatísticos para a espacialização da precipitação pluvial, sem contar que muitas das estações apresentam considerável grau de falha. Apesar de existirem diversas metodologias para preenchimento destas falhas com base em dados observados nas estações mais próximas, este problema, muitas vezes, inviabiliza a utilização dos dados (OLIVEIRA; PRUSKI; NUNES, 2013).

O entendimento do regime de precipitações (estimativas médias e máximas), sua sazonalidade e a influência das características fisiográficas da região (PEREIRA, 2004; NETO, 2012), apresenta grande interesse de ordem técnica por sua frequente aplicação nos projetos hidráulicos (canais, bueiros, vertedores de barragens, galerias de águas pluviais, sistemas de drenagem) e estudos relacionados à conservação do solo (BEIJO; MUNIZ; NETO, 2005; CARVALHO et al., 2013). Nestes projetos as dimensões são definidas aliando-se a segurança ao melhor custo benefício, sendo necessário trabalhar com séries históricas que apresentem baixo nível de falha (PRUSKI; SILVA; KOEZ, 2006).

Além disso, o estudo das precipitações máximas faz-se importante quando se deseja obter os valores máximos diários, visando o estudo da frequência de ocorrência de precipitações intensas, inclusive para geração das equações de chuvas intensas (MELLO; SILVA, 2013). Chuvas intensas, também denominadas chuvas extremas ou máximas, são aquelas que apresentam grande lâmina precipitada, que supera um valor mínimo em um intervalo de tempo relativamente curto (SILVA et al., 2003), podendo causar catástrofes de inundações (GAINES, 2016) e vários perigos geológicos (IGWE et al., 2014; SHAO et al., 2015). Estudos recentes relatam que os eventos extremos podem aumentar em

frequência e intensidade na escala global, merecendo atenção especial dos profissionais, pesquisadores e governantes (WESTRA et al., 2014; WASKO; SHARMA, 2015).

A precipitação média além estar relacionada à conservação do solo, tem papel fundamental nas atividades agrícolas uma vez que este valor é determinante para o rendimento particular de cada cultura. A irregularidade da precipitação causa alternâncias das produções agrícolas e até mesmo instalações de sistemas de irrigação. Portanto, a falta de suplemento adequado de água em períodos críticos de desenvolvimento da cultura aliado ao não conhecimento do regime de chuvas (distribuição, média precipitada), pode resultar em perdas de produção ou mesmo em quebra de safra (CARVALHO et al., 2013).

### 3.3.1 Geração de séries sintéticas de precipitação

Conhecer as precipitações que ocorrem em uma região, sua distribuição espacial e temporal, e sua intensidade e duração, configuram tecnicamente fatores essenciais para os principais dimensionamentos de obras hidráulicas: vertedores de barragens, sistemas de drenagem, terraços entre outras (BELTRAME; LANNA; LOUZADA, 1991; PRUSKI; SILVA; KOEZ, 2006).

Por outro lado, a realidade é outra, apresentando informações meteorológicas com consideráveis níveis de falhas ou inconsistências. A Agência Nacional das Águas disponibiliza as séries pluviométricas pelo sistema de informações hidrológicas HydroWeb, nas quais se observam falhas diárias, mensais e anuais, muitas vezes inviabilizando a utilização dessas séries. A existência de falhas nas séries históricas se deve, basicamente, à ausência do observador, falhas nos mecanismos de registro, perda das anotações ou das transcrições dos registros pelos operadores e encerramento das observações. Entretanto, como existe a necessidade de se trabalhar com séries contínuas, essas falhas necessitam ser preenchidas (STRECK et al., 2009). E neste sentido, pesquisadores vêm buscando novas técnicas para a geração de dados sintéticos de precipitação para preencher esta lacuna.

De acordo com Chibana et al. (2005), vários métodos podem ser utilizados no preenchimento de falhas de dados meteorológicos, incluindo-se a utilização de médias de dados observados ou dados sintéticos obtidos de geradores de dados. Para Oliveira et al. (2010), os principais métodos são: ponderação regional (PR), regressões linear (RM) e potencial (RP) múltiplas, ponderação regional com base em regressões lineares (RS) e vetor regional (VR). Entretanto, Bertoni e Tucci (2001) avaliaram várias metodologias empregadas no preenchimento de falhas e concluem que nenhuma delas está completamente apta ao preenchimento de falhas diárias, sendo mais recomendadas para o preenchimento de falhas nas bases mensais ou anuais.

Uma forma comum de se obter dados sintéticos para um local específico com pequenas séries de dados observados, é a utilização de modelos hidrológicos estocásticos ou

probabilísticos (WILKS, 1999; ZANETTI et al., 2005; OLIVEIRA; ZANETTI; PRUSKI, 2005a; OLIVEIRA; ZANETTI; PRUSKI, 2005b; KOU et al., 2007). A fim de se estender o período de observação ou corrigir falhas, estes modelos usam rotinas computacionais voltadas explicitamente para a geração de séries sintéticas de elementos climáticos, denominadas de geradores climáticos. Por se basearem em variáveis aleatórias (representar a variabilidade dos eventos naturais) e seguirem distribuições estatísticas específicas, o resultado pode ser diferente para cada vez que o modelo for aplicado se não utilizar a mesma semente.

Uma série sintética de modelos estocásticos é o resultado da associação de séries de dados reais com números aleatórios produzidos por algoritmos computacionais, a fim de gerar sequências de números aleatórios que se assemelham aos dados climáticos reais (WILKS, 1999). Segundo o mesmo autor, a frequente utilização dos geradores climáticos ocorre pela baixa complexidade de calibração e implementação computacional, aliado ao grande volume de informação devido a sua apresentação em base diária. Entretanto, quando aplicados para diferentes localidades, não apresentam boa correlação como encontrado nos dados reais. Esta correlação é tão importante que esforços têm sido feitos para melhorar o desempenho das variações espaciais e temporais destas séries, principalmente para a precipitação.

Neste caso é necessário que esses dados simulados passem por uma avaliação quanto a sua confiabilidade e a representação das condições climáticas reais do local de interesse. Neste sentido, Meyer, Renschler e Vining (2008) verificaram que a distribuição dos conjuntos de números aleatórios produzidos em cada simulação influenciam diretamente na qualidade dos resultados gerados.

Alguns dos tradicionais modelos para geração de série sintética de dados climáticos comumente utilizados são: CLIGEN (Climate Generator), USCLIMATE, WGEN (Weather Generator), WXGEN (componente do modelo EPIC– Erosion/Productivity Impact Calculator) e GEM (Generation of weather Elements for Multiple applications) (ZANETTI et al., 2005).

Na década de 80, Richardson (1981) desenvolveu e avaliou o gerador climático WGEN utilizando dados climáticos registrados em diferentes estados(48) norte-americanos. O autor modelou a ocorrência ou não de um dia chuvoso através da cadeia de Markov-Gama de primeira ordem e o valor da precipitação diária pela distribuição de probabilidade Gama com dois parâmetros. Segundo Castellvi, Stockle e Ibañez (2001), o WGEN serviu de base para diversos outros geradores climáticos, incluindo o WXGEN (WALLIS; GRIFFITHS, 1995), CLIGEN e USCLIMATE (JOHNSON et al., 1996).

O CLIGEN integra o *software* WEPP desenvolvido por FLANAGAN e NEARING (1995) sendo responsável pela obtenção das séries sintéticas de dados climáticos. O WEPP oferece também funcionalidades para a simulação da predição da erosão e do escoamento

superficial, que merecem atenção pela boa qualidade dos resultados. O módulo CLIGEN oferece estimativas que incluem séries de precipitação, compostas pela precipitação total diária, duração, tempo padronizado de ocorrência da intensidade máxima instantânea e a própria intensidade máxima instantânea de cada evento.

O CLIGEN pode simular de forma aceitável a ocorrência diária de precipitação e a precipitação total (ZHANG; GARBRECHT, 2003; KOU et al., 2007). No entanto, ao avaliar a distribuição temporal das tempestades (YU, 2000; ZHANG; GARBRECHT, 2003; ZHANG et al., 2008), foi observado que o gerador de clima tende a superestimar a duração das breves tempestades e subestimar a duração das tempestades prolongadas, o que resulta em uma estimativa de intensidade inadequada (ZHANG; GARBRECHT, 2003). Para avaliar a distribuição dos valores gerados pelo CLIGEN os autores aplicaram os testes de Qui-quadrado e do intervalo de confiança, além de desenvolverem um procedimento capaz de controlar a qualidade dos números aleatórios gerados (a partir da versão 5.1).

O USCLIMATE é um modelo computacional estocástico de elementos climáticos, capaz de gerar séries sintéticas compostas pela precipitação total diária, temperaturas máxima e mínima e radiação solar. No modelo, a ocorrência de precipitação diária é estimada pela aplicação da cadeia de Markov de primeira ordem, conferindo uma relação probabilística com a estimativa do dia anterior e a lâmina de precipitação estimada, através da distribuição exponencial. Os parâmetros referentes as variações sazonais seguem a série de Fourier (série infinita de senos e cossenos). Este *software* permite ao usuário acessar informações para uma única estação ou estimar as características climáticas para qualquer local por meio da interpolação das informações das estações mais próximas (JOHNSON et al., 1996).

Uma comparação dos modelos USCLIMATE e CLIGEN (incorporado ao WEPP) feita por Johnson et al. (1996) simulando dados de precipitação, temperatura e radiação solar para seis localidades dos Estados Unidos, aplicou vários testes estatísticos de significância à estimativa dos valores médios, do desvio padrão e dos valores extremos, utilizando séries históricas de mais de 50 anos. O resultado, em relação a melhor representação da variabilidade dos dados climáticos e da manutenção da correlação entre os elementos climáticos, indicou o modelo USCLIMATE com o de melhor desempenho. Os autores também recomendam que esse modelo seja utilizado em aplicações relativas à geração de energia elétrica que necessitem de estimativas de informações climáticas. Por outro lado, o CLIGEN é mais indicado para aplicações hidrológicas, uma vez que produz informações sobre a duração e a intensidade máxima instantânea das chuvas.

O modelo computacional GEM também se desenvolveu a partir do modelo WGEN, tendo forte influência do USCLIMATE. Seu funcionamento é acoplado ao banco de dados PRISM (Parameter-Regressions on Independent Slopes Model), agilizando a entrada dos

dados estimados e espacializados com boa resolução (4km). Com uma interface amigável, o modelo oferece aos seus usuários ferramentas para a escolha de qualquer localidade dos Estados Unidos, gerando séries sintéticas de valores diários de precipitação e temperaturas máxima e mínima (JOHNSON et al., 1996). A metodologia do PRISM está fundamentada na interpolação e extrapolação dos dados climáticos registrados pelas estações meteorológicas norte-americanas e, também, já foi implementado ao motor de busca CLIGEN (SCHEELE; ELLIOT; HALL, 2001).

O DSSAT é um Sistema de apoio e decisão para transferência de agro-tecnologia desenvolvido através da colaboração de cientistas de diversas universidades norte americanas em conjunto com a USDA (Agricultural Research Service), que traz consigo, dentre as diversas funcionalidade, os geradores climáticos WGEN e SIMMETEO. Sentelhas, Faria e Chaves (1999) avaliaram o desempenho destes geradores comparando os dados observados e simulados nas escalas de tempo diária, decendial e mensal. Ao simular dados de temperatura, precipitação e radiação solar advindos dos estados de São Paulo e Paraná, os autores observaram que a simulação torna-se mais eficiente com o aumento da escala de tempo. Concluíram que a elevada dispersão entre os dados gerados para precipitação apresentam uma correlação insatisfatória entre os dados observados e simulados.

O *software* WeatherMan (Weather data Manager), desenvolvido por Pickering et al. (1994), também agrega os dois modelos estocásticos WGEN e SIMMETEO. Os autores automatizaram os processos mais repetitivos de acordo com as necessidades para fomentar modelos da agronomia, tornando-se um pacote de *software* que auxilia na preparação de dados meteorológicos diários para uso com modelos de simulação.

O gerador climático WXGEN-EPIC, também descendente da família WGEN, teve seu desempenho avaliado por Wallis e Griffiths (1995), e se mostrou satisfatório ao simular as sequências de dados climáticos, representando razoavelmente os valores médios observados, a variabilidade e a frequência dos eventos extremos. Os autores observaram uma potencial melhora de eficiência no processo de determinação de dias secos e úmidos, caso a cadeia de Markov fosse implementada para uma ordem superior a um.

O Gerador Estocástico de Parâmetros Climáticos (GEPAC), desenvolvido por Filho (1997), permite a simulação de dados diários de precipitação e de outros elementos climáticos. Os resultados de desempenho obtidos a partir dos dados simulados não apresentaram diferenças estatísticas dos dados observados, tornado o modelo uma alternativa eficiente no planejamento agrícola, na modelagem de processos hidrológicos e nas pesquisas.

Oliveira, Zanetti e Pruski (2005a), Oliveira, Zanetti e Pruski (2005b) desenvolveu um modelo estocástico para geração de séries sintéticas de precipitação diária baseando-se em registros pluviográficos históricos (precipitação, lâmina, duração e intensidade) de onze estações meteorológicas do Estado do Rio de Janeiro. Estatisticamente, o modelo

considera cada evento de precipitação gerado como o somatório dos eventos que ocorreram diariamente na série histórica. Comparações entre os dados observados e simulações no CLIGEN, mostram que os resultados tem potencialidade de aplicação para o Estado do Rio de Janeiro. Entretanto, devido aos numerosos e repetitivos procedimentos matemáticos demandados na sua aplicação, o autor recomendou a implementação de um *software* a fim de facilitar a utilização do modelo proposto.

Zanetti et al. (2005) criou o *software* ClimaBR baseado na metodologia para geração de séries sintéticas de precipitação (total precipitado - mm), a duração do evento (h), o tempo padronizado de ocorrência da intensidade máxima instantânea e a intensidade máxima instantânea padronizada) desenvolvida por Oliveira, Zanetti e Pruski (2005a), Oliveira, Zanetti e Pruski (2005b). Em seguida, Zanetti, Oliveira e Pruski (2006) validaram o ClimaBR, no que se refere à geração de séries sintéticas de precipitação total diária em diferentes localidades brasileiras. Para um maior alcance e conseqüentemente uma melhor avaliação, o método foi aplicado para todas as diferentes regiões de precipitação homogênea do País, sendo geradas, através do ClimaBR, séries sintéticas de precipitação de 100 anos para 12 localidades. A análise foi feita pela comparação dos valores observados e gerados pelo ClimaBR, por meio de regressão linear simples e de outros indicadores estatísticos. Os resultados obtidos permitem afirmar que, de acordo com as condições consideradas no presente estudo, o modelo ClimaBR apresentou bom desempenho na geração de séries sintéticas de precipitação (número de dias chuvosos e precipitação total diária) para todas as localidades testadas.

Serinaldi e Kilsby (2012) apresentam uma classe de geradores estocásticos de precipitação em base mensal concebidos para aplicação em problemas de gerenciamento de recursos hídricos, como a análise de sensibilidade de secas e cenários de precipitação extrema sob mecanismos externos de forçamento climático e não climático. A classe de geradores faz uso do método *Bootstrap* e do *framework* de modelagem estatística GAMLSS (oferece também que suas principais bibliotecas sejam baixadas e rodadas no R) como alternativas para simular cada mês.

O modelo foi configurado e calibrado para simular chuvas mensais de seis locais na Inglaterra e no País de Gales a fim de produzir um insumo adequado para a análise da seca. Os resultados do estudo de caso apontam que o modelo pode capturar várias características da série de chuvas. Em particular, permite a simulação de cenários de chuvas de baixas e altas intensidades, mais extremas do que as observadas, bem como a reprodução da distribuição das chuvas acumuladas anuais e da relação entre os índices de precipitação e circulação, como a oscilação do atlântico norte e a temperatura da superfície do mar, tornando a estrutura adequada para análise de sensibilidade em cenários climáticos alternativos.

### 3.4 Análise fluviométrica

A vazão pode entendida através do comportamento dos seus parâmetros estatísticos, como mínimas (SILVEIRA et al., 1998; PEREIRA, 2004; MOREIRA; SILVA; SILVA, 2015; PRUSKI; SILVA; KOEZ, 2006), médias (PEREIRA, 2004) e máximas (GRIEBELER et al., 2001); sendo as duas primeiras fundamentais para o estudo da disponibilidade hídrica e a concessão de outorgas de direito do uso da água e a terceira para o dimensionamento de obras hidráulicas. O estabelecimento dos critérios de outorga de direito de uso das águas vinculado as vazões mínimas e médias, além de estar vinculado à disponibilidade hídrica, é dependente dos sistemas jurídicos e econômicos locais (SILVA et al., 2006).

Para a elaboração de um sistema de suporte ao gerenciamento das águas superficiais é necessário definir quais serão os índices ou critérios a serem utilizados como referência para a concessão de direito de uso da água (CRUZ; TUCCI, 2005; RIBEIRO, 2000). Estes critérios estão associados ao risco de sua ocorrência, sendo adotadas as vazões médias, as vazões cujas frequências de excedência são de 90% ( $Q_{90}$ ) ou 95% ( $Q_{95}$ ) e a vazão mínima com sete dias de duração associada a um período de retorno de dez anos ( $Q_{7,10}$ ). A vazão de referência para o processo outorga (CRUZ, 2001; CRUZ; TUCCI, 2005; RIBEIRO, 2000; SILVEIRA et al., 1998) é o valor de vazão que representa o limite superior de utilização da água em um curso de água e, normalmente é baseado em vazões de estiagem ou em vazões com alta probabilidade de superação.

Apenas um percentual da vazão adotada deve ser passível de outorga, sendo o restante a vazão a ser mantida no rio para a manutenção dos ecossistemas (FILHO; CAMPOS, 1996). Segundo Cruz (2001), cada Estado do Brasil, tem-se adotado critérios específicos para o estabelecimento das vazões mínimas de referência para outorga sem, entretanto, apresentar justificativas para a adoção desses valores. A soma destes dois limitantes (divergência dos percentuais e necessidade de vazão remanescente) afeta diferentes usuários e suas atividades econômicas, como irrigação, abastecimento urbano, geração de energia, produção industrial, diluição de efluentes, recreação, entre outros.

Uma opção para minimizar o problema é a aplicação de critérios sazonais nas análises de vazões anuais mínimas proposta por Moreira (2005). Os autores, analisaram os efeitos quantitativos da adoção de períodos sazonais trimestrais e semestrais em comparação ao período anual das vazões de referência  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , quantificando as diferenças relativas da disponibilidade hídrica entre as vazões de referência adotadas para fins de outorga de uso de água. Na análise da  $Q_{7,10}$ , os resultados mostraram que a aplicação de critérios sazonais pode propiciar aumento de até 126% nos períodos de maior disponibilidade hídrica. Para as vazões associadas às permanências de 90% ( $Q_{90}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ ), foram registrados aumentos de até 99% no período chuvoso, e redução de até 24,5% no período de estiagem, em comparação com o período anual. Os resultados

obtidos permitiram concluir que o uso dos critérios baseados no comportamento hídrico sazonal propicia flexibilização nas vazões outorgáveis em períodos chuvosos e restrição nos períodos de estiagem.

Segundo Pruski, Silva e Koez (2006), a análise das vazões mínimas observadas nos períodos de estiagem servem como ferramentas de avaliação da oferta hídrica em uma bacia hidrográfica. Os períodos de estiagem, também designados de períodos críticos, refletem o potencial disponível para o suprimento de água para populações, indústrias, irrigação, navegação, geração de energia elétrica e regularização de vazão em cursos d'água.

Novaes et al. (2009) ajustou as vazões mínimas ( $Q_{7,10}$ ,  $Q_{95}$ ) ao longo da rede hidrográfica da Bacia do Paracatu perfazendo 21 estações. A metodologia proposta ajustou modelos de regressão para representação das vazões mínimas em função da área de drenagem no rio de maior ordem, e a partir deste, obter as vazões na foz de cada rio afluente. O método apresentado possibilitou a obtenção de resultados com melhor qualidade de informações para o gerenciamento de recursos hídricos.

A vazão média permite caracterizar a disponibilidade hídrica de uma bacia e o seu potencial energético, dentre outros usos. Ela permite a avaliação dos limites superiores do uso da água de um manancial para as diferentes finalidades (TUCCI, 2002). Segundo o mesmo autor, a vazão média pode ser interpretada de acordo com os valores utilizados no seu cálculo, podendo ser expressa em  $m^3/s$  ou em  $mm/ano$ , para relacioná-la nas mesmas unidades que a precipitação. Para estabelecer a compreensão os indicadores de uma estação fluviométrica deverão ser apresentados na forma de valores médios mensais, anuais ou de longo período. Os valores médios mensais representam a média de um mês específico dentro de um determinado ano, os anuais, a média de um determinado ano e; o de longo período, compreende o valor médio de toda a série. É interessante também produzir o resultado médio do longo período mês a mês, que é dado pelo valor médio de longo período para cada um dos meses separadamente.

A vazão média de longo período consiste na média das vazões médias anuais, sendo a maior vazão possível de ser regularizada no curso d'água, abstraindo-se as perdas por evaporação e infiltração (PRUSKI; SILVA; KOEZ, 2006). Um dos enfoques de Pereira (2004) foi analisar o comportamento hidrológico do rio São Francisco e seus principais afluentes através de procedimentos de ajuste das vazões média e mínima ao longo do rio São Francisco, visando à correção de distorções existentes nas séries históricas. As análises referentes as variáveis hidrológicas foram segregadas em dois períodos distintos (1950-1976 e 1979-2000) permitindo o efeito comparativo e até mesmo o estudo da estacionariedade. Os resultados das variáveis hidrológicas estudadas apresentaram valores médios no período de 1979 a 2000 superiores aos de 1950 a 1976, cuja justificativa segue o tradicional processo de formação das vazões.

Pruski et al. (2004) utilizaram o valor médio de longa duração para analisar o

comportamento da vazão média específica de longa duração no Rio São Francisco, cuja área de drenagem é da ordem de  $640.000\text{km}^2$  e é responsável pela sustentabilidade de 503 municípios situados na bacia. Foram analisados os dados hidrológicos de 77 estações fluviométricas, sendo a vazão específica média de longa duração obtida dividindo-se a vazão média anual pela área de drenagem da estação fluviométrica considerada. Os resultados apresentam diminuição das vazões específicas médias de longa duração da nascente para a foz do São Francisco.

A determinação da vazão específica em locais com dados, serve por exemplo, para estimar a vazão em locais sem monitoramento (série sintética espacial) (RODRIGUES, 2017) e para estudos comparativos de disponibilidade hídrica.

A vazão máxima, também denominada vazão crítica de enchente ou vazão de projeto (canais, bueiros, vertedores de barragens, galerias de águas pluviais, sistemas de drenagem), representa a vazão associada à ocorrência de uma chuva intensa ou uma sequência de chuvas. A estimativa desta vazão também contribui efetivamente no controle de inundações e na quantificação das perdas de solo (PRUSKI; SILVA; KOEZ, 2006).

Segundo Hong, Seth e Michael (2017), nas últimas décadas, cresceu a ocorrência das vazões de inundações e os problemas associados a elas, os quais podem ser medidos, em termos de perdas econômicas (KUNDZEWICZ et al., 2013) restituição por seguradoras (MILLS, 2005) ou o número de eventos registrados. A compreensão aprimorada das causas dessas mudanças é fundamental para gerenciar e mitigar os impactos futuros. No entanto, a análise da vazão crítica separadamente é incapaz de descrever as alterações observadas, sendo também necessária a análise: da mudança na magnitude ou frequência de eventos máximos de precipitação (o risco de inundação); do número de pessoas expostas à inundação; da magnitude dos impactos, dada uma exposição à inundação (a vulnerabilidade à inundação) (KRON, 2005; PEDUZZI et al., 2009).

Bianchi et al. (2012) avaliaram a vazão máxima da bacia hidrográfica do rio Canguiri para os anos de 1976, 1984 e 1999, com o método de Ven Te Chow – Soil Conservation Service (SCS) para diferentes períodos de retorno (3, 5, 10, 15, 20, 25 e 50 anos), considerando a notável redução das áreas florestadas e o crescimento das áreas urbanizadas. Os resultados apontaram o aumento na vazão de pico para todos os períodos de retorno, evidenciando o alto grau de compactação e impermeabilização do solo na bacia hidrográfica.

Menezes et al. (2014) observaram o comportamento da vazão máxima em relação aos atributos físicos de uma micro bacia urbana do município de Lavras, MG. A caracterização morfométrica e a avaliação do uso do solo de uma bacia hidrográfica se torna uma ferramenta importante para gestão dos recursos hídricos, pois permite prever o grau de vulnerabilidade da bacia a fenômenos extremos como enchentes e inundações. A análise dos dados e a interpretação dos resultados obtidos apontam que micro bacia do Ribeirão

Vermelho possui forma alongada, e portanto baixo risco de cheias em condições normais. A análise do uso e ocupação do solo em 2003 e 2013, apresentaram o aumento da área urbana e a redução das áreas de pastagens, entretanto, não se observou consideráveis alterações na vazão de pico entre estes anos.

Neste contexto, o estudo do regime de vazões é fundamental para a compreensão do ciclo da água em bacias hidrográficas (OLIVEIRA; PRUSKI; NUNES, 2013), uma vez que este representa o comportamento hidrológico frente as alterações climáticas e antrópicas, como eventos extremos de precipitação e de alterações no uso do solo, respectivamente.

### 3.5 Distribuição de probabilidade

A distribuição de frequência é um processo estatístico que transforma uma série cronológica de uma variável aleatória em uma série estatística onde as datas de ocorrência são eliminadas e a ordenação dos eventos observados se faz em ordem de grandeza (KITE, 1988; PINTO; NAGHETTINI, 2007). Isso permite verificar a frequência com que ocorreram valores iguais ou superiores a um evento dado. No caso das vazões mínimas de sete dias,  $Q_7$ , pode-se atribuir uma probabilidade a cada um dos eventos e verificar qual a chance de ocorrer um valor inferior ou superior a um evento dado.

Para estimar e aplicar as vazões máximas e mínimas (MOREIRA, 2005; SOUSA et al., 2009; CRUZ, 2001; BOF et al., 2013; CARVALHO et al., 2013; SILVA et al., 2006; FILHO; CAMPOS, 1996), precipitações máximas (SILVA et al., 2003; SIVAKUMAR et al., 2001) e capacidade de reservatórios para diferentes períodos de retorno (NUNES; PRUSKI, 2015; RODRIGUES, 2017), é prescrita a utilização de funções de distribuição de densidade e probabilidade (KITE, 1988). Essas funções são geradas a partir de eventos máximos - estimativa de vazões e precipitações máximas, e capacidade de reservatórios e de eventos mínimos - estimativa de vazões mínimas. Além da estimativa da magnitude do evento, utilizam-se os intervalos de confiança para estabelecer a variação possível dos eventos estimados e a escolha da melhor função ajustada.

Para este tipo de análise são utilizadas as distribuições de densidade e probabilidade Gumbel, Logpearson 3, Pearson 3, Lognormal 2 e 3, e Weibull, sendo a estimativa da magnitude de um evento com determinado período de retorno (KITE, 1988; PINTO; NAGHETTINI, 2007). Segundo Euclides (1992) não se pode definir, a priori, a distribuição de probabilidades para descrever a frequência de vazões em hidrologia e, sim, selecionar uma família de curvas indicadas ao tipo de dados analisados e, em seguida, individualizar a lei de probabilidade que mais se adapta a interpretar cada série histórica disponível.

No entanto, a literatura têm mostrado que a distribuição de probabilidade Gumbel é a que melhor se ajusta aos fenômenos extremos (máximos). Beijo et al. (2003) estimaram

a precipitação pluvial diária máxima esperada em diferentes níveis de probabilidade para a região de Jaboticabal, SP, ajustando a distribuição de Gumbel. As estimativas dos parâmetros foram obtidas pelo método dos momentos e de máxima verossimilhança com 45 anos de dados de precipitação pluvial diária máxima agrupados em períodos mensal e anual.

Ferreira, Daniel e Tomazela (2005) confirmaram esse bom ajuste da distribuição Gumbel para dados de precipitação máxima de 165 localidades do Estado de São Paulo. Mello e Silva (2005) também ajustaram a distribuição Gumbel à série histórica de precipitação máxima diária anual da região Alto Rio Grande. Eles estudaram os efeitos que os métodos de estimação, Máxima Verossimilhança e Momentos, dos parâmetros da distribuição de Gumbel proporcionam na estimativa da equação de chuvas intensas, aplicando-se um modelo chuva-vazão.

### 3.6 Ottocodificação

A lei das águas (Lei Federal 9.443/1997) define bacia hidrográfica como um espaço territorial para o planejamento e gestão hídrica, executados pelos comitês de bacias hidrográfica e conselhos de recursos hídricos, buscando atuar de forma descentralizada e participativa, proporcionando múltiplos usos da água, com a colaboração do poder público, dos usuários e das comunidades (MMA, 2012). A importância de se determinarem unidades administrativas para o desenvolvimento, planejamento e gerenciamento integrado dos recursos hídricos foi ratificada pela Conferência das Águas e Meio Ambiente (Dublin), conjuntamente com a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1992 (Rio 92), no Rio de Janeiro.

A codificação de bacias proposta aperfeiçoa o gerenciamento das bacias de drenagem e possibilita maior controle da ação antrópica e de suas consequências em todo o sistema (RIBEIRO et al., 2005). A ottocodificação se configura como um sistema recursivo de endereçamento extremamente simples proposto por Otto Pfafstetter em 1989, tendo como base a topografia das bacias de contribuição e a topologia das respectivas redes de drenagem (SILVA et al., 2008; VERDIN; VERDIN, 1999).

A ottocodificação destaca-se pela representação fidedigna da estruturação inerentemente recursiva das bacias hidrográficas, por meio de utilização de códigos (SILVA et al., 2008). A técnica caracteriza-se por sua racionalidade, que faz uso de uma pequena quantidade de dígitos em um código específico para uma bacia determinada. Isso permite inferir, através do código, quais as bacias hidrográficas estão localizadas a montante e a jusante daquela em estudo, aperfeiçoando o gerenciamento das bacias de drenagem. A principal limitação do método, sua não automaticidade, é evidenciada quando se trabalha em uma grande malha hidrográfica, por ser um trabalho manual e repetitivo, aumenta a

propensão a erros.

A integração do desenvolvimento tecnológico da informática e do monitoramento remoto à cartografia convencional propiciou o surgimento das técnicas de geoprocessamento, representando hoje um conjunto de ferramentas especialmente adequado à tarefa de gestão de recursos naturais. Verdin e Verdin (1999) implementaram-na em um sistema de informações geográficas, possibilitando a estruturação, armazenamento e recuperação de dados em bases hidrográficas.

Os fatos supracitados, juntamente com a presente carência de sistemas computacionais que referenciem em escala global, identifiquem e classifiquem - de forma singular, a natureza das bacias hidrográficas (TONELLO et al., 2006), justifica a criação de um sistema computacional que automatize o processo de Ottocodificação. Silva et al. (2008) adaptaram o método de Otto Pfafstetter para trabalhar em mapas no formato vetorial, ao invés do formato *raster*, haja vista a ampla disponibilidade da malha hidrográfica brasileira no formato vetorial em diversas escalas, o que não ocorre com os modelos digitais de elevação das respectivas bacias. Os autores contornaram a forte dependência do método com a área de drenagem (inviável no formato vetorial) substituindo esta informação pelo comprimento do trecho de rio, seguindo as etapas metodológicas conforme o original. Como resultado final foi construído o aplicativo OttoSys que roda acoplado na ARCInfo, destacando-se pela sua eficiência em endereçar todo e qualquer segmento de uma rede hidrográfica vetorial, independentemente de seu tamanho ou nível de detalhamento.

Para maior correspondência entre a morfologia da bacia adotada para a delimitação das ottobacias, é necessário adotar Modelos Digitais de Elevação (MDE), pois estes possibilitam a delimitação com mais rigor fisiográfico, já que levam em consideração dados altimétricos do terreno (ANA, 2006), sendo fiel ao método de Otto Pfafstetter. A representação digital da superfície por um MDE permite uma consistente análise topográfica de uma área de interesse, com o entendimento das variáveis ligadas à altitude, tais como: vertentes, orientações, limites de bacias hidrográficas, direção do fluxo, fluxo acumulado entre outros (METZ; MITASOVA; HARMON, 2011; TARBOTON, 1997).

A partir do MDE também é possível extrair informações morfométricas da superfície terrestre, e vem sendo muito aplicada na hidrologia, principalmente no delineamento de bacias hidrográficas e da sua respectiva rede de drenagem. Esta representação é conhecida na literatura como Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Condicionado (MDEHC). Segundo Baena et al. (2004), o MDEHC é necessário pois representa o relevo de forma mais fidedigna e assegura a convergência do escoamento superficial para a rede de drenagem mapeada, garantindo assim, a sua consistência hidrológica.

### 3.6.1 Formas de representação de terrenos

As formas mais comuns de representação de um terreno são: rede triangular irregular (TIN, *triangulated irregular network*) ou modelo digital de elevação (MDE) armazenado numa matriz, conforme Figura 1.

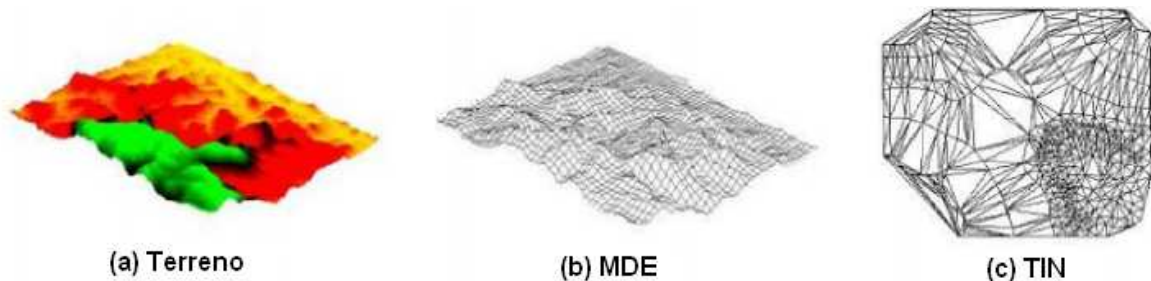


Figura 1: Modelos de representação de terreno. (a) Terreno. (b) Modelo digital de elevação (c) *Triangulated Irregular Network*

Uma TIN é uma representação vetorial da superfície do terreno formada por pontos de coordenadas  $(x, y, z)$  irregularmente distribuídos. As coordenadas são conectadas entre si, formando uma rede de triângulos não sobrepostos (BERG et al., 2000). Assim a superfície é aproximada pelos retalhos triangulares. A elevação (coordenada  $z$ ) de um ponto qualquer pode ser obtida interpolando os vértices do triângulo cuja projeção planar contém a projeção  $(x, y)$  do ponto em questão.

Um MDE, normalmente armazenada numa matriz, contém as elevações de um conjunto de pontos regularmente distribuídos sobre uma determinada região (Figura 2) (FELGUEIRAS, 2001).

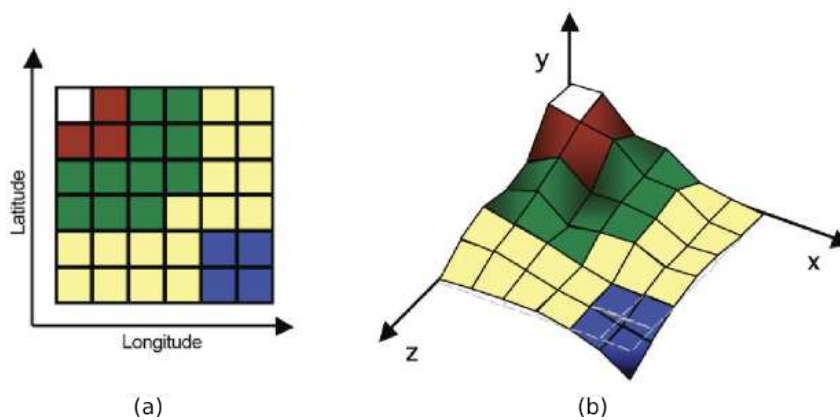


Figura 2: (a) Modelo digital de elevação, matriz. (b) Modelo tridimensional, cada posição dessa estrutura representa a elevação do terreno original.

Um terreno também pode ser representado por mapas de contorno (isolinhas).

Embora estes mapas possam ser facilmente interpretados pelos usuários, não são muito adequados para o processamento computacional, devido à ausência de informações sobre a morfologia do terreno entre duas linhas do mapa. A opção por um modelo específico de representação não significa uma restrição, pois há diversos métodos (FELGUEIRAS, 2001; BERG et al., 2000; MAGALHAES et al., 2012) que realizam a conversão entre as formas de representação descritas anteriormente.

### 3.6.2 Rede de drenagem

O elemento básico da hidrografia de um terreno é a sua rede de drenagem (JENSON; DOMINGUE, 1988; METZ; MITASOVA; HARMON, 2011; HAVERKORT; JANSSEN, 2012; MAGALHAES et al., 2012), sendo esta o ponto de partida para muitos estudos de geoprocessamento, como é o caso da otocodificação. A rede é composta pela área de contribuição, pela direção do escoamento e pelo fluxo acumulado.

A área de contribuição pode ser entendida como a área de um terreno que contribui para a formação do escoamento na seção considerada (O'CALLAGHAN; MARK, 1984; TARBOTON, 1997; METZ; MITASOVA; HARMON, 2011; MAGALHAES et al., 2012). É a área que recebe a água da chuva e a direciona para a formação dos rios.

A direção do escoamento é definida para cada ponto do terreno. Supondo que uma unidade de água alcance uma determinada posição do terreno, a direção do escoamento indica para onde essa unidade de água seguirá devido ao escoamento. Adiante será indicado que essa direção é definida pela cota das células do(s) vizinho(s) mais baixo(s).

O fluxo acumulado é uma propriedade de cada *pixel* do terreno e corresponde à quantidade de água que escoar para aquele *pixel* (HAVERKORT; JANSSEN, 2012; METZ; MITASOVA; HARMON, 2011).

Há diversos métodos para a obtenção da rede de drenagem (JENSON; DOMINGUE, 1988; MAGALHAES et al., 2012; HAVERKORT; JANSSEN, 2012) que, em geral, adotam dois tipos de vizinhanças para uma célula: D4 ou D8. Estes métodos supõem que, cada célula que não se localiza nas bordas do terreno possui quatro ou oito células vizinhas.

Além do tipo de vizinhança deve-se também definir o tipo de escoamento, considerando um dos modelos (Figura 3).

- Fluxo em direção única (SFD - *Single-flow-direction*): o fluxo é direcionado numa única direção para a célula vizinha que possua o menor valor de elevação e que seja menor que a elevação da célula em questão;
- Fluxo em varias direções (MFD - *Multi-flow-directions*): o fluxo é dividido igualmente e distribuído para todas as células vizinhas que possuam elevação menor do

que a célula em questão.

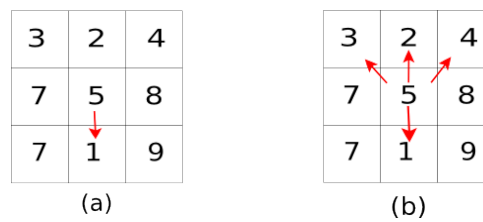


Figura 3: Modelos de direcionamento de fluxo baseado na vizinhança D8: (a) SFD - fluxo em direção única; (b) MFD - fluxo em varias direções. Os valores nas células representam a elevação

Do ponto de visto computacional, a escolha dos modelos SFD ou MFD não é crítica, pois em ambos os modelos a direção de fluxo e o fluxo acumulado podem ser computados com a mesma complexidade assintótica. Do ponto de vista prático essa escolha é importante, pois o modelo SFD geralmente produz uma rede de fluxo com menor número de trechos convergentes, mais longos; enquanto o modelo MFD produz uma rede mais difusa, com um maior número de trechos, porém mais curtos (ARGE et al., 2003).

Na determinação da direção de fluxo, existem algumas situações em que a determinação da direção de fluxo não é possível de imediato. Isso pode ocorrer porque a célula é um mínimo local ou porque pertence a uma região horizontalmente plana.

Um mínimo local pode ser definido como uma célula do terreno cuja elevação é menor ou igual à elevação de todas as suas vizinhas. Já uma região plana corresponde a um conjunto de células adjacentes, que possuem mesma elevação. A igualdade entre as elevações impede a imediata definição da direção do escoamento. As células pertencentes à borda de uma região plana e que não são mínimos locais, são denominados pontos de escoamento. Isto é, que possuem pelo menos uma célula vizinha com elevação menor que a sua (ARGE et al., 2003).

Segundo Rosim et al. (2003), as regiões planas podem ser classificadas de duas formas:

- **Platôs:** definem-se como planos altos, ou seja, são regiões planas que possuem pelo menos um *pixel* de escoamento ( 4a). Desta maneira é possível afirmar que existe pelo menos um vizinho com elevação inferior as células deste platô.
- **Fossos:** são regiões do terreno onde nenhuma de suas célula vizinha possui elevação menor. Caracterizam-se como regiões planas sem ponto de escoamento( 4b).

A água sempre segue o caminho que apresenta menor resistência. A direção de escoamento segue gradientes menores, e conseqüentemente, menos obstáculos. O fluxo num platô é orientado na direção dos *pixels* de menor potencial.

Já na determinação do escoamento de um fosso é necessário induzir um alagamento na região. O alagamento é uma espécie de preenchimento artificial, com a intenção de descobrir a direção do fluxo apresentado no fosso. Então haverá acumulação de água, que "transbordará", escoando através das células vizinhas com menor elevação. Assim, as posições das células vizinhas indicarão a direção do escoamento das células do fosso (Figura 4b). Na Figura 4a, a orientação do escoamento da água no platô de elevação igual a quatro será direcionado aos vizinhos de elevação três.

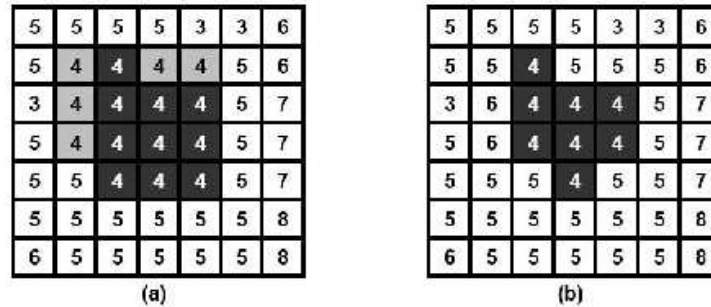


Figura 4: Ocorrência de região plana: (a) Platô; (b) Fosso. As células cinza mais escuras representam a região plana e as cinzas mais claras (no platô) representam os *pixels* de escoamento (ARGE et al., 2003).

Diversos métodos de obtenção da rede de drenagem como, por exemplo, os apresentados por Tarboton (1997), Rosim et al. (2003), Metz, Mitasova e Harmon (2011), Haverkort e Janssen (2012), Magalhaes et al. (2012), eliminam os fossos (depressões espúrias) realizando um pré-processamento do terreno, a fim de preenchê-lo até que um *pixel* da grade com valor de elevação maior que a elevação máxima do fosso seja encontrada, conforme mostra a Figura 5.

Uma maneira de realizar este processo é definir uma rampa de distância geodésica, partindo-se da(s) célula(s) da borda da área plana vizinha(s) à célula de menor valor de elevação que se encontra fora dela.

Na Figura 4b este processo preencherá todo o fosso de elevação quatro até atingir a cota cinco. Neste momento, o que era fosso se torna platô, o fluxo das células se direciona aos *pixels* de elevação igual a três. Fazendo um corte no terreno objetivando traçar um perfil deste, é possível entender este preenchimento pela Figura 5.

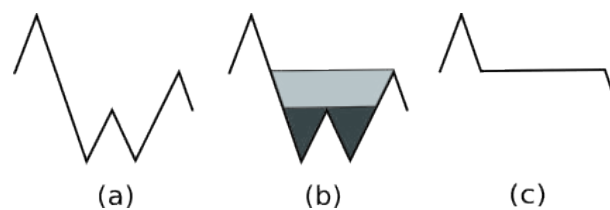


Figura 5: Preenchimento e transbordamento de um fosso, transformando-o num platô.

O processamento de um platô é realizado após a primeira etapa da obtenção das

direções de escoamento, quando a direção de escoamento em todas as células é conhecida, exceto nas células dos platôs. Conhecidos os *pixels* de escoamento de cada platô, a direção de escoamento de suas células é definida de modo que este seja orientado na direção das células de escoamento.

### 3.7 Importância dos *softwares* no processo de gestão hídrica

Devido à carência dos modelos que auxiliam os órgãos reguladores, atualmente, os *softwares* vem assumido um papel de destaque neste cenário por proporcionar maior confiabilidade e eficiência na geração e obtenção de dados. Segundo Fistarol, Frank e Refosco (2004), os sistemas de informações de recursos hídricos ganharam espaço devido a complexidade dos múltiplos usos da água aliado ao desenvolvimento do processo de gestão participativa, impulsionando naturalmente o avanço tecnológico na dinâmica gerencial. Os autores analisaram diferentes sistemas e notaram diferenças expressivas entre eles, advindas principalmente do objetivo para o qual o *software* de gerenciamento hídrico foi desenvolvido.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) vem sendo utilizados na construção de sistemas integrados, uma vez que são capazes de conectar modelos hidrológicos à base de dados georreferenciada, promovendo a visualização espacial dos dados (CHAVES, 2002). A utilização isolada do SIG não é capaz de suprir toda a complexidade intrínseca aos diferentes campos da hidrologia e meteorologia, demandando a integração com outras plataformas capazes de coletar, armazenar e processar os dados associados aos eventos observados.

A ANA disponibiliza a base hidrográfica otocodificada de todo o território brasileiro por meio de SIG, no entanto, não apresenta informações sobre vazões mínimas, médias, máximas, devido à ausência de estudos que quantifiquem essas vazões para a hidrografia (SOUSA et al., 2009); abrindo caminho para novas pesquisas e produções de *softwares* capazes de interagir com a base de dados da ANA e promover avanços neste contexto.

O programa SisCAH 1.0 - Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SOUSA et al., 2009), desenvolvido pela rede de pesquisa 2 do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), composta por várias instituições educacionais e supervisionada pela ANA, possui uma série de módulos computacionais que permitem realizar diversas análises do comportamento hidrológico em seções específicas da hidrografia. O *SisCAH 1.0* utiliza séries históricas de medição de vazões, as quais são fornecidas por estações fluviométricas, na base diária e fornecidas gratuitamente pela Agência Nacional de Águas no Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb). O *software* se restringe aos dados fluviométricos, sendo incapaz de promover análises de dados pluviométricos. O

*SisCAH 1.0* possui uma ferramenta de importação direta das séries históricas de vazão, desde que exista uma conexão com a internet que permita o acesso ao servidor da ANA.

O Atlas Digital das Águas de Minas, desenvolvido por Euclides et al. (2005) inicialmente voltado para estudo de regionalização de vazões logo expandiu seus horizontes contemplando diversas análises do comportamento hidrológico tendo por base as séries históricas fluviométricas disponibilizadas pela ANA. Do ano de 1992 quando lançada a primeira versão do *software* RH até o ano 2005, com o lançamento da última versão (RH 4.0), na Assembleia Legislativa, durante o 4º Fórum das Águas para o Desenvolvimento de Minas Gerais, o sistema cresceu e incorporou diversas funcionalidades. A versão mais recente, produzida no ambiente *Windows-Delphi* possibilita obter as variáveis hidrológicas básicas como vazões mínimas, máximas, médias de longo período, curvas de permanência e de regularização de reservatórios, de forma simples e rápida em base científico-tecnológica, consoante com a agilidade que as decisões, no âmbito da administração dos recursos hídricos, requerem.

Filho e Lanna (2003) criaram o sistema computacional PROPAGAR 2000 utilizando o paradigma de programação orientado a objetos, como ferramenta de suporte à gestão dos recursos hídricos segundo as regras de operação de reservatórios e as demandas hídricas da região. O sistema foi validado e testado na Bacia do Paracatu-MG.

No Estado de São Paulo o sistema oficial para análise, planejamento e gestão dos recursos hídricos é o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH), criado através de uma parceria entre o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), o Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) e a Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento. O *software* efetua a comunicação de dados, troca de informações e armazenamento de todo o conteúdo técnico e legal afeto à gestão de recursos hídricos (DAEE, 2004). Além disso, a partir das coordenadas geográficas da seção de interesse e sua área de contribuição é possível efetuar consultas espaciais e ter acesso a diversas variáveis hidrológicas.

Cirilo et al. (1997) apresentam um sistema para análise de dados hidrológicos com alguns componentes meteorológicos, como por exemplo: o processamento de dados pluviométricos, geração de modelos de chuva-vazão, e análise da evaporação d'água em áreas extensas; além das análises fluviométricas e operação de reservatórios. O sistema tem funcionado como um subsistema na administração e planejamento do uso da água no Estado de Pernambuco e tem se comportado de forma satisfatória.

Zanetti et al. (2005) desenvolveram um programa computacional denominado ClimaBR, a partir da metodologia para geração de séries sintéticas de precipitação desenvolvida por Oliveira, Zanetti e Pruski (2005a), Oliveira, Zanetti e Pruski (2005b). A implementação do sistema foi feita no ambiente de programação "Borland Delphi 6.0" (MCCOMBIE; PENMAN, 2001) por utilizar o paradigma de programação orientado a

objetos, apresentando seus resultados em formulários (janelas) bastante amigáveis. Os dados de entrada são advindos do banco de dados Hidroweb (ANA), com registros pluviométricos diários provenientes de estações meteorológicas, porém seu conjunto de estações e séries históricas não permite sincronizar com a atual base nacional. A partir dessas informações, o *software* é capaz de gerar séries sintéticas de precipitação diária oferecendo o total precipitado (mm), a duração do evento (h), o tempo padronizado de ocorrência da intensidade máxima instantânea e a intensidade máxima instantânea padronizada. Além dos arquivos (série sintética) de saída, são apresentadas várias informações na forma de gráficos e quadros, facilitando a avaliação do desempenho da metodologia desenvolvida.

As contribuições apresentadas por estes modelos computacionais são essenciais para a compreensão do comportamento hidrológico de uma seção ou até mesmo de uma bacia. No entanto, estes não se mostram suficientemente capazes de abranger todo o dinamismo e complexidade relacionados as séries históricas fluviométricas e pluviométricas. As análises destes sistemas sinalizam através de requisitos a continuidade de seus desenvolvimentos. Dentre eles pode-se citar: resultados específicos para determinada bacia; dificuldade na importação e atualização de séries históricas; e análise de dados pluviométricos; bancos de dados estáticos, e desatualizados; incapacidade de avaliar estacionariedade para estações; incapacidade de efetuar análise *box plot* para dados fluviométricos e pluviométricos; inexistência da estimativa dos eventos de precipitações máximas com análise de distribuição e frequência; dificuldades de analisar seções não monitoradas; incapacidade de estimar vazões mínimas mensais; e, analisarem apenas uma única estação.

## 4 Metodologia

### 4.1 Desenvolvimento do *software*

A construção do sistema foi realizada no sistema operacional Linux (*Software Livre*), dentro do ambiente de programação Netbeans (software livre para uso) na linguagem Java. A linguagem Java, desde a sua criação em 1995, é amplamente aceita e aplicada na produção de *softwares* devido a noção revolucionária de independência de plataforma. O que permite que um único instalador seja executado em diversos Sistemas Operacionais (Windows, Linux, MAC, entre outros) desde que instalada a *Java Runtime Environment*.

Para melhor entendimento e estruturação do trabalho, o sistema computacional pode ser subdividido primordialmente em cinco *softwares*, de acordo com sua principal utilidade, sendo estes: Web Service; Preliminary Analysis; RainFall, Streamflow e Ottocode.

Cada um destes *softwares* funcionam de forma independente, o que permite ao usuário final solucionar de forma objetiva cada um dos problemas relacionados ao uso e gestão da água. Sobretudo, a plataforma propiciará a ação conjunta de todos estes *softwares*, de modo que, os *softwares* criados deverão comunicar-se e complementar-se.

Na Figura 6 está representado o fluxograma das macro-funcionalidades subdivididas de acordo com cada *software* previsto. Através do fluxograma é possível entender como ocorre a interação entre cada sistema, dando-se, principalmente, através da entrada de dados, do fomento de arquivos via *web service* e do pré-tratamento dos dados.



determinada estação, como por exemplo: buscar pelo nome exato da estação; buscar pelo código exato da estação; buscar por parte do nome/código da estação.

Outros dois importantes fatores oferecidos são: o *download* de múltiplas estações e a sincronização das listas de estações fluviométricas e pluviométricas de acordo com a base de dados atual da ANA. Regularmente, a ANA faz atualizações em seu banco de dados e esta funcionalidade permite ao sistema manter-se atualizado sempre que o usuário desejar.

## 4.3 Pré-processamento

### 4.3.1 Tratamento prévio de séries fluviométricas e pluviométricas

#### 4.3.1.1 Descartes

Um problema muito comum nas séries históricas de dados fluviométricos e pluviométricos são as falhas. A falha é caracterizada pela ausência de dados ou por algum erro na fase de coleta do dado. Este é um problema crítico, visto que a ausência de dados numa série histórica compromete, ou pelo menos empobrece, os estudos e análises baseados nestes dados. Visando contornar o problema, desenvolveu-se um módulo que permite ao usuário detectar este tipo de problema, e dê opções para que ele trate estes dados.

O primeiro aspecto importante a ser abordado é o descarte de dados da série, que está pautado no percentual de falhas que uma estação apresenta. Os registros advindos dos arquivos do sistema Hidroweb estão ordenados de forma mensal, permitindo a análise do percentual de falhas de cada mês específico. Diante disso, foi desenvolvido inicialmente uma tela de apresentação para estas informações, deixando evidente o percentual de falhas de cada mês particular.

A ferramenta seguinte deste módulo computacional, constitui o descarte propriamente dito, responsável pelo descarte segundo o percentual de falhas definido. O usuário escolhe um percentual de falhas tolerável e então todos registros que apresentarem percentuais superiores ao limite serão descartados. Os registros que possuírem exatamente o valor da falha especificado pelo usuário não serão descartados. Esta funcionalidade é automática, ficando a cargo do sistema verificar e efetuar o descarte em toda a extensão da série, segundo o percentual arbitrado pelo usuário.

Outra forma de descartar um registro é através da seleção manual do mesmo. O usuário navegará pela *grid* de registros, marcando-os(descartando-os) ou desmarcando-os conforme sua necessidade. Todo o descarte efetuado, automático ou manual, implica na mudança de cor do mesmo, para sinalizar claramente a exclusão. Ao ser descartado, um mês (ou ano) deixa de ser computado em todos cálculos e estimativas executados.

No estudo e comparação de séries históricas uma importante característica é a busca pela uniformidade entre diferentes estações, por esta razão este módulo apresenta uma rotina que aplica uma determinada regra de descarte para todas estações fluviométricas e pluviométricas que estão sendo analisadas. Esta ação, especificamente, é um replicador, facilitando e otimizando o trabalho de pré-tratamento dos dados.

As funcionalidades apresentadas acima estão definidas segundo a forma original do arquivo baixado do Hidroweb, em registros mensais. Entretanto é interessante extrapolar todas elas para a base anual, onde o sistema se encarregará de fazer a transposição dos registros mensais para anuais. De tal forma, que agora, o valor quantitativo referente ao percentual de falhas, está associado ao ano como um todo, permitindo então que o sistema efetue as mesmas funções supracitadas em base anual.

#### 4.3.1.2 Ano hidrológico

Além do descarte em base mensal e anual, este módulo permite que o usuário defina seu próprio ano hidrológico. Por via de regra, o ano hidrológico pode ser entendido como o período de 12 meses compreendido entre o início de duas estações de chuvas consecutivas, podendo variar de um hemisfério para o outro, ou mesmo de uma análise para outra.

Desta forma, o módulo oferece ao usuário a possibilidade de escolher o mês de início do ano hidrológico, estabelecendo-o como mês inicial de todos os anos. E, obrigatoriamente esta regra passa a valer para todos os cálculos executados posteriormente.

Para ilustrar o funcionamento da ferramenta, supõe-se que uma estação cuja série histórica apresenta dados do ano 1970 a 1980, e o usuário tenha definido o início do ano hidrológico no mês de Outubro. O sistema adotará o início de todos os anos da série em Outubro e o fim em Setembro do ano seguinte.

Um caso particular são os meses de Janeiro a Setembro do ano 1970, que na realidade, após a alteração do ano hidrológico pertencem agora ao ano 1969/1970, que na prática não existe (dado o período 1970-1980). Neste caso a sistema se encarrega de efetuar o descarte destes meses (Jan/1970 à Set/1970).

De maneira análoga, os meses Novembro e Dezembro do último ano (1980) da série, não possuem correspondentes no ano 1981 (não existe dado neste exemplo) e portanto, são descartados automaticamente pelo sistema.

O usuário pode definir qualquer mês do ano como o primeiro mês do ano hidrológico e sempre que este mês escolhido não for Janeiro (início do ano civil) o sistema apresentará na coluna "year"(espalhada por todo o *software*) um valor duplo do ano corrente e seu sucessor. E quando for Janeiro, o valor será sempre um valor singular de um ano civil apenas.

### 4.3.2 Box plot

O *box plot* (gráfico de caixa) é um gráfico utilizado para avaliar a distribuição empírica dos dados. O *box plot* é composto pelo primeiro e terceiro quartil e pela mediana. A haste inferior se estende do quartil inferior até o menor valor da amostra que não ultrapasse o limite inferior; e a haste superior do quartil superior até o maior valor da amostra que não supere o limite superior. Os pontos fora destes limites podem ser considerados valores discrepantes (*outliers*) (PINTO; NAGHETTINI, 2007).

A análise *box plot* pode ser utilizada para diversas variáveis de uma amostra. Neste sistema ela avalia a distribuição empírica dos dados correspondentes às médias de longa duração de uma determinada estação fluviométrica ou pluviométrica.

O gráfico *box plot* tem como base os seguintes valores:

1. Limite inferior (haste mínima);
2. Primeiro quartil (Q1);
3. Mediana ( $\mu_{\frac{1}{2}}$ ), ou segundo quartil;
4. Terceiro quartil (Q3);
5. Limite superior (haste máxima);

O gráfico formado é uma caixa construída paralelamente ao eixo dos dados, podendo ser horizontal ou vertical. Os limites deste *box* inicia-se no primeiro quartil e termina no terceiro quartil, sendo traçada uma linha na posição da mediana (Equação 4.1).

$$\mu_{\frac{1}{2}} = \frac{N + 1}{2} \quad (4.1)$$

em que:

$\mu_{\frac{1}{2}}$ : mediana da amostra;

$N$ : total de elementos da amostra.

O primeiro passo para obtenção do *box plot* é a ordenação dos dados amostrais em ordem crescente. Na sequência, obtém-se a mediana (Equação 4.1) e a amostra é subdividida em duas, exatamente na posição em que se encontra a mediana. A amostra dos valores inferiores à mediana é denominada "*amostra inferior*" e a amostra dos valores superiores à mediana é denominada "*amostra superior*" (Figura 7).

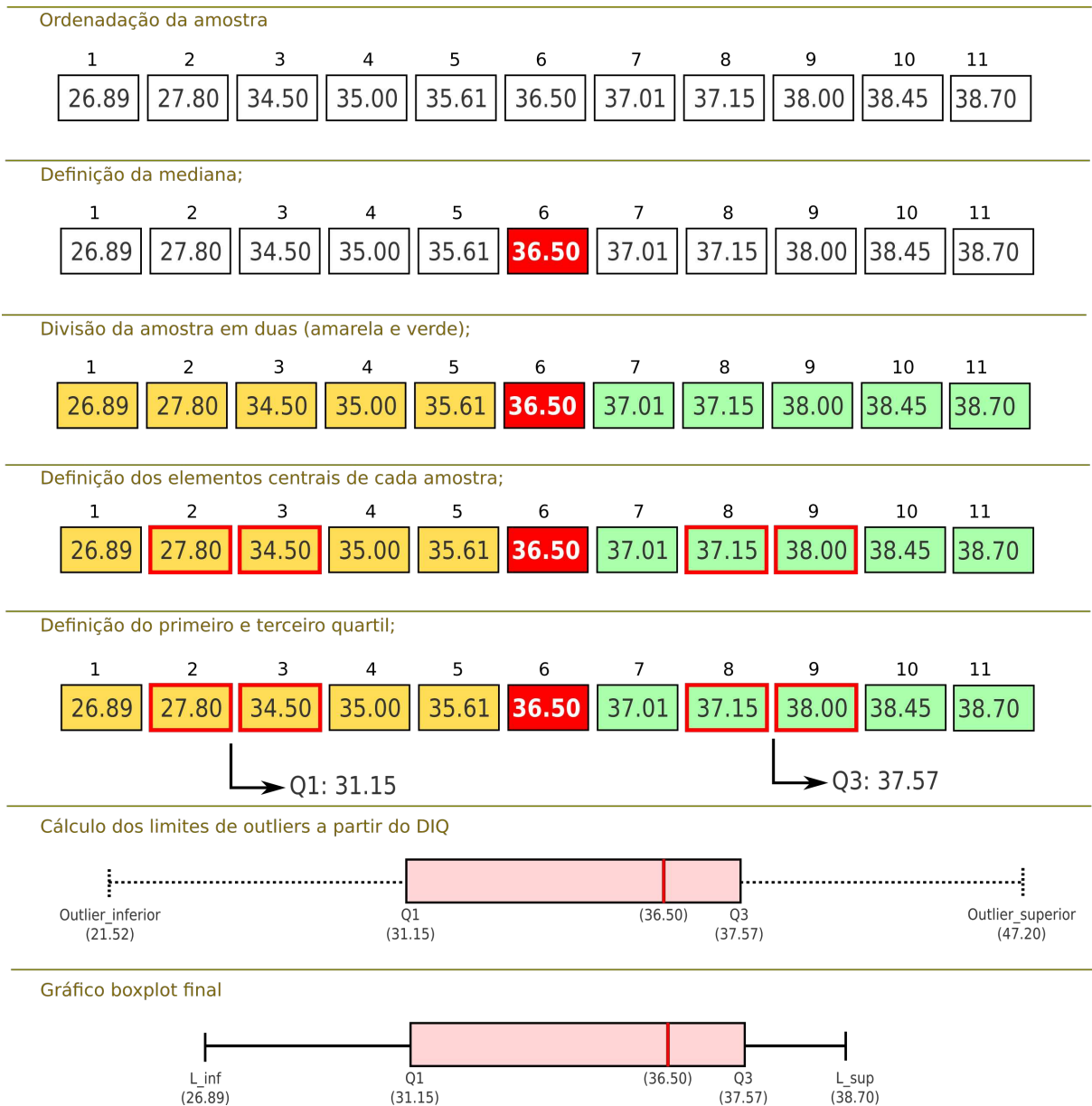


Figura 7: Metodologia de obtenção do gráfico box plot.

O primeiro quartil é definido pela média aritmética dos dois valores centrais da amostra inferior. O terceiro quartil é análogo, porém tem como base a amostra superior.

Na sequência, é necessário definir a diferença entre o terceiro e primeiro quartil. Essa é denominada *diferença interquartil (DIQ)*.

$$DIQ = Q3 - Q1 \tag{4.2}$$

em que:

Q1: primeiro quartil;

Q3: terceiro quartil.

Finalmente, para definir os limites inferior e superior do gráfico *box plot*, é necessário conhecer o maior ( $\lceil x \rceil$ ) e o menor ( $\lfloor x \rfloor$ ) elemento da amostra. Assim, o limite inferior do gráfico será dado pela Equação 4.3 e o limite superior pela Equação 4.4.

$$L_{inf} = \begin{cases} \lfloor x \rfloor, & \text{se } (\lfloor x \rfloor > Q1 - 1.5DIQ) \\ Q1 - 1.5DIQ, & \text{se } (\lfloor x \rfloor < Q1 - 1.5DIQ) \end{cases} \quad (4.3)$$

$$L_{sup} = \begin{cases} \lceil x \rceil, & \text{se } (\lceil x \rceil < Q3 + 1.5DIQ) \\ Q3 + 1.5DIQ, & \text{se } (\lceil x \rceil > Q3 + 1.5DIQ) \end{cases} \quad (4.4)$$

em que:

$\lfloor x \rfloor$ : o menor elemento da amostra analisada;

$\lceil x \rceil$ : o maior elemento da amostra analisada;

Q1: o valor definido para o primeiro quartil;

Q3: o valor definido para o terceiro quartil;

DIQ: a diferença interquartil.

A partir da DIQ também é possível classificar os valores da amostra como atípicos (*outliers*<sup>1</sup>) ou não, aplicando a Equação 4.5.

$$x = \begin{cases} \text{"outlier"}, & \text{se } (x < Q1 - 1.5DIQ), \text{ ou} \\ \text{"outlier"}, & \text{se } (x > Q3 + 1.5DIQ) \end{cases} \quad (4.5)$$

Desta forma, o módulo disponibiliza o gráfico de caixa plotado, bem como seus principais elementos: o primeiro quartil (limite inferior da caixa), o terceiro quartil (limite superior da caixa); a mediana (linha no interior da caixa) e as hastes externas à caixa com a definição de dados *outliers*. Para melhor interpretação dos resultados, é de suma importância a existência de uma tabela contendo as estações que estão sendo analisadas com as informações sobre o nome/código da estação, o período da série analisada, a área de contribuição (para estações fluviométricas), o valor da média e o “*status*” em relação ao *box plot*. A classificação do *status* será como “*outlier*” (Equação 4.5), cuja média é um valor muito discrepante dos demais ou “*accept*”, cuja média se enquadra no desvio padrão dos demais.

A partir desta classificação fica a critério do usuário decidir de excluir ou mantém uma determinada estação marcada como *outlier*. A análise permite também a adição de novas estações na amostra estudada. Por este motivo, é interessante que a coluna *status*

<sup>1</sup> Em estatística, *outlier*, valor atípico ou discrepante, é uma observação que apresenta um grande afastamento das demais da série, ou que é inconsistente.

seja sinalizada com cores diferentes, para melhor distinção do usuário. Cabe ressaltar que ao adicionar ou excluir uma determinada estação, o sistema recalcula a média de cada estação, reconstruindo o gráfico *box plot* e a tabela.

### 4.3.3 Estacionariedade

A análise de estacionariedade será feita pelo método paramétrico no qual verifica por meio dos testes Student e Fisher, o comportamento da média e da variância de dois sub-períodos distintos de uma série hidrológica. Para aplicação dos testes é necessário que a amostra estudada se ajuste à distribuição normal (TUCCI, 2002). Esta responsabilidade é do usuário, sendo que o sistema não dá suporte a esta análise. O objetivo da análise é detectar alterações no regime hidrológico registrado na série. O teste de Fisher é aplicado para analisar a identidade de variância. Utilizando séries amostrais que pertençam a populações normais e sejam independentes, o valor de  $F$  será dado por:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (4.6)$$

em que:

$S_1^2$ : variância maior; e

$S_2^2$ : variância menor.

Segundo (TUCCI, 2002) o valor calculado pela Equação 4.6 é comparado a um  $F$  (teórico) advindo da tabela de distribuição de acordo com o grau de liberdade e com o nível de significância requerido. O nível de significância determina o risco que se admite caso haja rejeição de uma hipótese correta, ou seja, a da igualdade eventual das variâncias. Uma vez que o valor obtido para  $F$  através da aplicação da Equação 4.6 seja maior que o teórico, a hipótese de identidade das variâncias poderá ser rejeitada, admitindo-se, entretanto, o risco de se estar cometendo o erro mencionado, com o seu valor percentual definido. No módulo Estacionariedade o valor padrão adotado é 1%, podendo ser ajustado à mercê do usuário.

Para o teste de homogeneidade das médias, o cálculo do valor de  $t$  do teste de Student, dependerá da hipótese de igualdade das variâncias. Caso a hipótese da variância não seja rejeitada o teste de homogeneidade das médias será dado por:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{s \sqrt{\left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}\right)}} \quad (4.7)$$

$\bar{x}_1$  : média da amostra anterior;

$\bar{x}_2$  : média da amostra posterior;

$s$ : estimativa do desvio padrão em todo o período de dados;

$N_1$  : número de eventos da amostra anterior; e

$N_2$  : número de eventos da amostra posterior.

sendo que:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 + \sum_{j=1}^{N_2} (x_j - \bar{x}_2)^2}{N_1 + N_2 - 2} \quad (4.8)$$

Na utilização da Equação 4.8 a hipótese de homogeneidade da média será aceita quando o módulo de  $t$  calculado for menor que a metade do  $t$  tabelado para graus de liberdade iguais a  $N_1 + N_2 - 2$  e para o nível de significância especificado.

Caso a hipótese da variância seja rejeitada o teste de homogeneidade das médias sera dado por:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{s \sqrt{\left(\frac{S_1}{N_1} + \frac{S_2}{N_2}\right)}} \quad (4.9)$$

os graus de liberdade são calculados por:

$$GL = \frac{1}{\frac{K^2}{N_1-1} + \frac{1-K^2}{N_2-1}} \quad (4.10)$$

em que

$$K = \frac{N_2 S_1^2}{N_2 S_1^2 + N_1 S_2^2} \quad (4.11)$$

Na utilização da Equação 4.9 a hipótese de homogeneidade da média será aceita quando o módulo de  $t$  calculado for menor que o  $t$  tabelado para graus de liberdade iguais a GL e para o nível de significância especificado.

## 4.4 Análise pluviométrica

### 4.4.1 Estimativa das precipitações médias

No processo de caracterização das condições de precipitação média a abordagem para estimativa da média precipitada anual é estabelecida ano a ano como a média do total precipitado em cada mês do ano (Equação 4.12).

$$\bar{P}_{Annual} = \frac{\sum_{i=1}^{12} PT_i}{12} \quad (4.12)$$

em que:

$\bar{P}_{Anual}$ : Precipitação média anual;

$PT_i$ : Precipitação total para o mês  $i$ ,

onde a precipitação total do mês não é obtida pela média dos valores diários e sim pelo valor informado na coluna *total* do arquivo Hidroweb.

Já a precipitação média em todo o período (precipitação média de longa duração) de dados é calculada a partir do somatório das médias mensais conforme a Equação 4.13.

$$\bar{P}_{mld} = \sum_{i=1}^{12} Pmed_{mes}(i) \quad (4.13)$$

$$Pmed_{mes}(i) = \frac{\sum_{j=1}^n PT_{ij}}{n} \quad (4.14)$$

em que:

$P_{mld}$  : Precipitação anual média de longa duração;

$Pmed_{mes}(i)$  : Precipitação média ao longo de todos anos para o mês  $i$ ; é também a precipitação mensal média de longo período ou longa duração;

$PT_{ij}$  : Precipitação total do mês  $i$  no ano  $j$ ;

$n$  : Total de anos válidos no cálculo.

As precipitações máximas estão associadas a um Período de Retorno (T) através das funções de densidade e probabilidade, e são empregadas principalmente em estudos para o dimensionamento de obras hidráulicas. A análise estatística (Seção 4.6) é feita sobre as observações realizadas nos postos hidrométricos, verificando-se com que frequência elas assumiram cada magnitude e avaliando-se as probabilidades teóricas. O objetivo deste estudo é associar a magnitude do evento com a sua frequência de ocorrência, sendo relevante no dimensionamento de estruturas hidráulicas primando a segurança.

#### 4.4.2 Estimativa das precipitações máximas

Para determinar as precipitações máximas anuais, é necessário definir inicialmente o maior valor de precipitação registrado ao longo do ano. Para isso, o algoritmo deve percorrer toda extensão da série histórica para um determinado ano, procurando o maior valor. O processo é repetido para cada ano da série histórica, gerando assim uma amostra de  $N$  eventos extremos. O maior elemento desta amostra é considerado o evento máximo de precipitação, sem considerar período de retorno.

Para estimar as precipitações máximas para diferentes períodos de retorno, é prescrita a aplicação de funções de distribuição de densidade de probabilidade. Essas funções

são geradas a partir de eventos máximos - estimativa das precipitações máximas. O processamento da análise estatística segue as funções de densidade e probabilidade apresentadas na Seção 4.6, com exceção de Weibull que é indicada para eventos mínimos. Além da estimativa da magnitude do evento, utilizam-se os intervalos de confiança para estabelecer a variação possível dos eventos estimados e a escolha da melhor função ajustada.

### 4.4.3 Geração de série sintética de precipitação

O processo de geração de uma série sintética de precipitação abordado nesta seção segue a proposição de feita por Oliveira, Zanetti e Pruski (2005a), Oliveira, Zanetti e Pruski (2005b), gerando exclusivamente a série de lâminas precipitadas, sendo feito a partir dos dados diários de uma série histórica de uma estação pluviométrica. Assim sendo, o usuário pode escolher qualquer uma das estações pertencentes à BDT do projeto em questão para rodar o modelo.

O primeiro procedimento executado ao abrir o módulo de geração é o descarte de todos os anos que possuam percentual de falhas maior que zero. O algoritmo trabalha apenas com anos completos. Esta etapa é automática e acontece no momento em que o módulo é carregado, dispensando que o usuário rode o módulo de Descarte.

Uma vez garantido que a estação possui apenas anos completos, o passo seguinte é calcular os dados pluviométricos para cada mês. Os dados necessário para a aplicação do modelo são: média mensal (Equação 4.15), desvio padrão mensal (Equação 4.16), coeficiente de assimetria mensal (Equação 4.47) e as probabilidades de ocorrência diária de chuva, condicionado à ocorrência ou não de chuva no dia anterior.

Como a estatística desejada é mês a mês, o sistema precisa agrupar toda a serie de dados completos da estação 12 amostras (Jan, Fev, ..., Dez) e calcular os valores desejados.

$$\bar{x}_j = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (4.15)$$

$$s_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_j)^2}{n - 1}} \quad (4.16)$$

$\bar{x}_j$ : média da precipitação total diária mensal, mm;

$n$ : número de dias chuvosos do mês;

$x_i$ : precipitação diária observada no mês, mm; e

$s_j$ : desvio padrão da precipitação total diária mensal, mm.

As probabilidades de ocorrência diária de chuva, condicionado à ocorrência ou não de chuva no dia anterior são modeladas pela cadeia de Markov de primeira ordem definidos pelas equações:

$$P(C/C)_j = \frac{\sum_{i=1}^n DCC_i}{\sum_{i=1}^n DC_i} \quad (4.17)$$

$$P(C/S)_j = \frac{\sum_{i=1}^n DCS_i}{\sum_{i=1}^n DS_i} \quad (4.18)$$

em que:

$P(C/C)_j$ : probabilidade, obtida para cada mês, de ocorrência de um dia chuvoso sendo o dia anterior chuvoso, decimal;

$DCC_i$ : dia chuvoso sendo o dia anterior também chuvoso;

$DC_i$ : dia chuvoso;

$P(C/S)_j$ : probabilidade, obtida para cada mês, de ocorrência de um dia chuvoso sendo o dia anterior seco, decimal;

$DCS_i$ : dia chuvoso sendo o dia anterior seco; e

$DS_i$ : dia seco.

A partir dos cálculos estatísticos executados para cada mês é possível dar início à geração da série pluviométrica sintética. As séries são geradas diariamente para todos os meses dos anos simulados, de acordo com a definição do usuário do ano inicial e do número de anos que ele deseja simular.

Como o modelo é estocástico, é preciso criar uma função de geração de números aleatórios distribuídos uniformemente no intervalo de 0 a 1 de tal forma que seja capaz de produzir dois números aleatórios para cada dia do ano, de toda a extensão da série sintética. Uma particularidade deste modelo estocástico é que, obrigatoriamente criará uma mesma série sintética para uma mesma estação, independente de quando ele for executado. Isso significa que o gerador de números aleatórios possui uma única semente para cada estação pluviométrica.

Para a definição de um valor diário de precipitação o procedimento inicial é definir se o dia é chuvoso ou não. Se o dia anterior ao dia simulado tiver sido chuvoso, a probabilidade de ocorrência de chuva considerada o dia é  $P(C/C)_j$ , caso contrário adota-se  $P(C/S)_j$ . A base do procedimento é que o primeiro dia da série é considerado seco. De posse da probabilidade correta o algoritmo efetua a comparação dela com o primeiro número aleatório gerado. Caso o número seja maior que a probabilidade testada o dia recebe o valor zero (dia seco) para lâmina de precipitação. Caso contrário o dia é chuvoso e o passo seguinte é estimar o valor de sua lâmina de precipitação de acordo com a distribuição de Pearson III (Equação 4.19).

$$P = \bar{x}_j + \frac{2s_j}{\gamma} \left( \left( \frac{\gamma}{6} \left( x_p - \frac{\gamma}{6} \right) + 1 \right)^3 - 1 \right) \quad (4.19)$$

$$z = \sqrt{\ln \frac{1}{hp^2}} \quad (4.20)$$

$$x_p = \frac{z - (2.30753 + 0.27061z)}{1 + 0.99229z + 0.04481z^2} \quad (4.21)$$

em que  $hp$  é igual a 1.0 - (*número aleatório*) quando o número aleatório do dia em simulação for igual ou maior que 0.5. Caso contrário,  $hp$  assume o valor do próprio número aleatório e o valor de  $x_p$  calculado por meio da Equação 4.21 é utilizado na Equação 4.19, com sinal invertido.

Ao final da geração da série sintética diária de precipitação, o modelo realiza o método de correção das médias e posteriormente o método de correção dos desvios. A correção é um ajuste proporcional para aproximar a série criada da original.

$$P' = \frac{\bar{x}_j}{\bar{x}_i c} P \quad (4.22)$$

$P'$ : precipitação total diária com média corrigida, mm; e  $\bar{x}_i c$  = média da precipitação total diária mensal calculada a partir dos valores de precipitação obtidos pela Equação 4.19.

Posteriormente, efetua a correção do desvio padrão:

$$P_c = (P' - \bar{x}_j) \frac{s_j}{s_j c} + \bar{x}_j \quad (4.23)$$

$P_c$ : precipitação total diária corrigida, mm; e  $s_j c$  = desvio padrão da precipitação total diária mensal calculada a partir dos valores de precipitação obtidos pela Equação 4.22.

Após a geração da série sintética, é feita uma comparação entre a série sintética e a série original, por meio da construção de gráficos com o resumo dos resultados e o armazenamento da série sintética gerada na Base de Dados de Trabalho.

#### 4.4.4 Preenchimento de falhas

Um problema muito comum nas séries históricas de dados pluviométricos são as falhas. Uma vez que o *software* trabalha com multi estações em sua BDT, o método utilizado para resolver o problema das falhas foi o da Regressão Linear onde a condição principal é a presença de pelo menos três outras estações de apoio com  $r^2$  maior ou igual a 0.7 ou  $r$  maior ou igual a 0.84.

Neste módulo, a regressão linear simples será feita somente para os dados em base mensal ou base anual. Para cada uma das estações de apoio, é calculado o valor do *slope*

(Equação 4.25), do *intercept* (Equação 4.26), do  $r$  (Equação 4.27), e, caso todas elas atendam a recomendação de apresentarem  $r$  maior ou igual a 0.84 o preenchimento de um determinado ano é executado seguindo a Equação 4.24.

$$P_Y = \frac{r_{yx1}P_{x1} + r_{yx2}P_{x2} + r_{yx3}P_{x3} + \dots + r_{yxn}P_{xn}}{r_{yx1} + r_{yx2} + r_{yx3} + \dots + r_{yxn}} \quad (4.24)$$

$$slope = \frac{n \sum_{i=1}^n XY - \sum_{i=1}^n X \sum_{i=1}^n Y}{n \sum_{i=1}^n X^2 - (\sum_{i=1}^n X)^2} \quad (4.25)$$

$$intercept = \frac{n \sum_{i=1}^n X^2 \sum_{i=1}^n Y - \sum_{i=1}^n X \sum_{i=1}^n XY}{n \sum_{i=1}^n X^2 - (\sum_{i=1}^n X)^2} \quad (4.26)$$

$$r_{yx} = \frac{\sum_{i=1}^n XY - \frac{\sum_{i=1}^n X \sum_{i=1}^n Y}{n}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n X^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X)^2}{n}\right) \left(\sum_{i=1}^n Y^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n Y)^2}{n}\right)}} \quad (4.27)$$

## 4.5 Análise fluviométrica

No processo de caracterização das condições de escoamento em um curso d'água, os principais mecanismos são as vazões máximas, mínimas e média de longa duração.

Os processos hidrológicos são aleatórios, não podendo ser previstos com precisão. Desta forma torna-se necessário o uso da estatística para o estabelecimento da probabilidade de ocorrência de um dado evento. Nos métodos para a estimativa de vazões com base no emprego de séries históricas de dados, os estudos hidrológicos baseiam-se na hipótese de que as séries históricas de vazões observadas no passado deverão se repetir no futuro. Assim sendo, o projeto de obras hidráulicas é elaborado com base em dados históricos, visando estabelecer a probabilidade de ocorrência no futuro de um dado evento, admitindo-se a estacionariedade.

Na estimativa das vazões mínimas e máximas, estabelecidas pela duração e frequência de ocorrência, associadas a um período de retorno, seguem as equações apresentadas na Seção 4.6.

### 4.5.1 Estimativa da Vazão Mínima

No processo de estimativa da vazão mínima de uma estação fluviométrica, é fundamental, a primeira decisão do usuário em calcular as vazões mínimas do ano como um todo (base anual), ou para apenas um mês específico (base mensal). Caso seja escolhida a base mensal é necessário também definir o mês a ser analisado, isso significa que o sistema executará a busca pela ocorrência da vazão mínima apenas no mês especificado para cada

ano da série histórica. Caso o contrário a base de trabalho é a anual, e o sistema executa para cada ano da série a busca pela vazão mínima ocorrida no ano.

O passo seguinte para obtenção da vazão mínima é a definição da janela móvel (Figura 8), que dará origem à lista de médias móveis. A janela móvel pode ser entendida como o número de dias consecutivos que serão efetuados a média. A lista de médias móveis é resultado da obtenção da média (segundo a janela móvel) de todos os dias do ano com seus respectivos sucessores. O número total de médias móveis ( $Tot_{mm}$ ) de uma determinada série histórica é dado por:

$$Tot_{mm} = Total_{dias} - Tamanho_{janela} + 1 \quad (4.28)$$

A Figura 8, ilustra o processo para uma série contendo 11 dias e janela móvel de 4 dias, permitindo a definição do número de vezes que cada dia da série participou da média móvel e o total de médias móveis (oito) obtidas segundo a Equação 4.28.

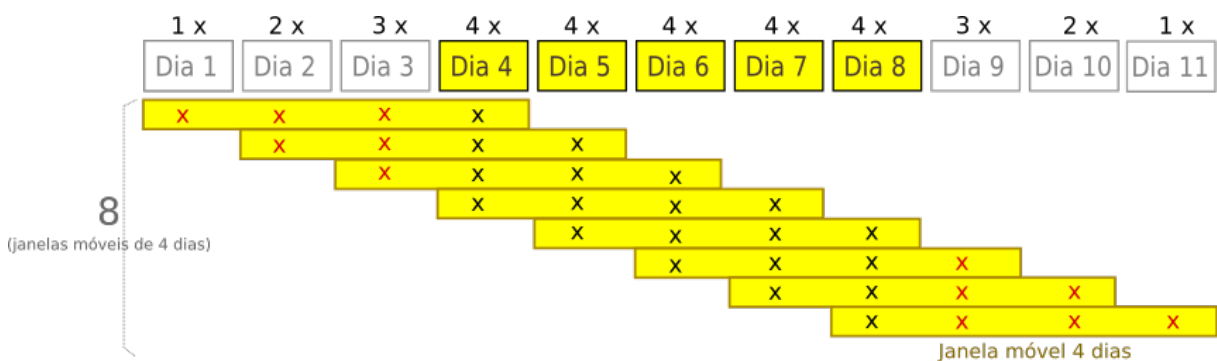


Figura 8: Cálculo das médias móveis com janela de quatro dias consecutivos.

Supondo que o usuário defina a janela móvel igual a 7 dias, o sistema usará este valor para criar a lista de médias móveis. O procedimento é repetido para cada dia do ano que possuir pelo menos 6 dias consecutivos. Desta forma, para o primeiro dia do ano será efetuado a média do dia 1 ao dia 7 de Janeiro, estabelecendo a primeira média móvel da lista. A segunda média móvel da lista será obtida computando a média das vazões do dia 2 ao dia 8 Janeiro (perfazendo também os 7 dias determinados pela janela móvel). O procedimento será repetido para cada dia do ano até o dia 25 de dezembro, afinal a partir do dia 26 de Dezembro o critério de 7 dias da janela móvel deixa de ser atendido.

Ao longo de todo o processo, dois casos particulares chamam a atenção e requerem tratamentos especiais.

O primeiro é quando a janela móvel transpassa de um mês para o outro. Por exemplo, ao processar o dia 26 de Janeiro, com janela móvel igual a 7. Para este cenário o tratamento é considerar o início do novo mês como subsequente ao último dia do mês

corrente, desta forma a média móvel será determinada do dia 26 de Janeiro ao dia 1 de Fevereiro.

O segundo é caracterizado ao detectar que um dos sucessores não possui registro de vazão (falha). Para este problema, o sistema deverá ignorar este dia como se ele não tivesse sido testado e estender a janela até o próximo dia que possuir dado. Por exemplo, para computar a terceira média móvel da lista, com janela igual a 7, o sistema processará a média dos dias 3 à 9 de Janeiro. Supondo que o dia 9 de Janeiro não possua registro de vazão, o critério de 7 dias da janela móvel não será atendido, portanto está caracterizado o caso particular. Para solucionar este inconveniente o sistema deverá estender a janela até o próximo dia que possuir registro de vazão. Se este dia for o dia 10 de Janeiro, o sistema efetua a terceira média móvel da lista, senão verifica o dia 11 de Janeiro e assim por diante até deparar com um dia que possua registro de vazão.

Uma vez definida a lista de médias móveis de um ano (ou mês - caso a base mensal), o passo seguinte é procurar a menor média, que definirá a vazão mínima média deste ano. Para o exemplo apresentado na Figura 8 será escolhido o menor valor encontrado dentre os oito valores de média calculados. Este valor é único, e considerado o valor mínimo do ano analisado.

No processo de estimativa da vazão mínima, é fundamental associar um período de retorno para que aumente o grau de confiança da análise estatística que esta sendo feita. Para isso, o processo de determinação da vazão mínima é executado para cada ano da série, criando um conjunto de valores mínimos. A este conjunto de mínimas anuais ou mensais é definido um período de retorno que será utilizado para o processamento da análise estatística a partir das funções de densidade e probabilidade apresentadas na Seção 4.6, com exceção de Gumbel que é indicada para eventos máximos.

#### 4.5.2 Estimativa da Vazões Máximas

Na estimativa de vazões máximas será oferecido a possibilidade de trabalhar com a base mensal, apenas a base anual. A definição da vazão máxima de uma série de dados é caracterizada pelo dia em que ocorrer o maior valor quantitativo de vazão. Portanto, a estimativa da vazão máxima não sofrerá influências (diferente do cálculo da vazão mínima, que está pautado na média móvel de  $n$  dias consecutivos), será sempre o maior valor observado no ano, respectivamente.

Assim, de maneira análoga ao processo da obtenção da vazão mínima, cada ano da série possuirá um valor máximo, criando um conjunto de valores observados de vazões máximas. Novamente, neste tipo de análise a associação de um período de retorno é fundamental para aumentar o grau de confiança da análise estatística que está sendo feita. O processamento da análise estatística segue novamente as funções de densidade

e probabilidade apresentadas na Seção 4.6, com exceção de Weibull que é indicada para eventos mínimos

### 4.5.3 Estimativa da Vazões médias

A vazão média anual e mensal de um rio é a média de todas as vazões diárias observadas no ano e no mês, respectivamente. A vazão média de longo período consiste na média das vazões médias anuais, abstraindo-se as perdas por evaporação e infiltração.

Os processamentos efetuados têm por base o período original da estação fluviométrica escolhida. Outra funcionalidade interessante é a obtenção dos resultados para um período base contido no período original da série. Neste caso, basta o usuário inserir os anos do período base que o sistema recalcula a média de acordo com estes valores.

Enriquecendo a análise dos resultados, o sistema oferece ao usuário um gráfico comparativo que permita visualizar o comportamento dos dados médios mensais e anuais. Evidenciando o ano (ou mês) de maior média, de menor média, a tendência ao longo do tempo (acréscimo ou decréscimo), entre outros.

### 4.5.4 Curva de permanência

A curva de permanência descreve a relação entre a vazão de um curso d'água e a probabilidade de ocorrerem vazões maiores ou iguais ao valor da ordenada apresentada na curva. O procedimento apresentado por Pruski, Silva e Koez (2006) basea-se na obtenção de 50 classes de frequência, e a partir destas classes efetuar o processo de interpolação e determinação da curva de permanência para cada estação fluviométrica. O método segue os seguintes passos:

1. **Seleção:** seleciona-se a série de dados de vazões diárias para aplicação do método;
2. **Definição dos intervalos:** define-se 50 intervalos de classe das vazões diárias;
3. **Mudança de escala:** transforma a subdivisão dos intervalos de classe para a escala logarítmica, devido a grande variação de magnitude das vazões envolvidas.
4. **Cálculo do intervalo ( $\Delta X$ ):** calcula-se o intervalo de classe através da equação:

$$\Delta X = (\ln Q_{max} - \ln Q_{min}) \quad (4.29)$$

em que:

$Q_{max}$ : vazão máxima da série; e

$Q_{min}$ : vazão mínima da série.

5. **Cálculo dos limites dos intervalos:** calcula-se os limites dos intervalos a partir de  $Q_{min}$ , adicionando o intervalo calculado anteriormente, o que resulta na vazão do limite superior do intervalo  $i$ .

$$Q_{i+1} = e^{(\ln Q_i + \Delta X)} \quad (4.30)$$

6. **Classificação das vazões:** determina-se, com base nos dados de vazão da série histórica de cada estação fluviométrica, do número de vazões classificadas no intervalo;
7. **Determinação da frequência:** determina-se a frequência ( $f_i$ ) associada ao limite inferior de cada intervalo:

$$f_i = \frac{N_{qi}}{NT} 100 \quad (4.31)$$

em que:

$N_{qi}$ : Número de vazões de cada intervalo;

$NT$ : número total de vazões.

8. **Plotagem:** obtém-se a curva de permanência, plotando-se na ordenada os limites inferiores dos intervalos de classe de vazão e na abscissa a frequência de ocorrência. O módulo responsável pela curva de permanência oferece os resultados referentes à Q95%, Q90% ... Q50% de uma estação considerando o período completo, ano a ano, ou para um determinado mês de um determinado ano. O gráfico vazão vs permanência também é gerado e apresentado ao usuário para verificar o comportamento de acordo com os demais percentuais de permanência.

## 4.6 Análise estatística

A distribuição de frequência é um processo estatístico que transforma uma série cronológica de uma variável aleatória em uma série estatística onde as datas de ocorrência são eliminadas e a ordenação dos eventos observados se faz em ordem de grandeza. Isso permite verificar a frequência com que ocorreram valores iguais ou superiores a um evento dado, no caso das precipitações máximas, pode-se atribuir uma probabilidade a cada um dos eventos e verificar qual a chance de ocorrer um valor inferior ou superior a um evento dado.

A função de distribuição  $F(X)$  informa a Prob.  $x \leq X$ , ou seja informa a probabilidade da variável  $x$  ser inferior a um dado evento  $X$ . Considerando que o número de casos favoráveis, que a variável  $x$  possa assumir seja  $m$ , em um total de  $n + 1$  eventos, a função de distribuição será:

$$F(x) = \frac{m}{N + 1} \quad (4.32)$$

em que:

$F(x)$  = frequência de ocorrência de um evento menor ou igual ao de ordem  $m$  em  $N$  anos

$N$  = números de anos de observação.

Período de Retorno é definido como o período de tempo médio, em anos, em que um determinado evento igual ou superior ao de ordem  $m$  deve ocorrer pelo menos uma vez. É determinado pelo inverso da função de excedência,  $1 - F(X)$ , assim:

$$T = \frac{1}{1 - F(x)} \quad (4.33)$$

A análise pela distribuição de frequência direta permite determinar o valor do evento esperado para um período de retorno ( $T$ , em anos) inferior ao da série observada. Neste caso, pode-se determinar, por exemplo, a precipitação máxima esperada para um período de retorno de 10 anos, que é inferior ao da série observada, por exemplo, de 38 anos.

Para as distribuições de frequência utilizadas, a estimativa da magnitude de um evento associadas a um período de retorno é dada pela equação:

$$M = \mu + K\sigma \quad (4.34)$$

em que:

$M$ : magnitude do evento para o período de retorno estabelecido;

$\mu$ : média dos eventos;

$K$ : fator de frequência; e

$\sigma$ : desvio padrão dos eventos.

Para cada uma das funções de distribuição de frequência existe uma determinada forma de obtenção do valor de  $K$  conforme a descrição a seguir.

#### 4.6.1 Distribuição Gumbel

É também conhecida como distribuição, ou distribuição de Fisher-Tippet, cuja utilização usual é na estimativa de eventos extremos.

O método apresentado em Kite (1988), propõe o valor do fator de frequência aplicado sobre a variável reduzida o fator de frequência é calculado da seguinte forma:

$$K = \frac{b - \mu_y}{\sigma_y} \quad (4.35)$$

sendo:

$$b = -\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right) \quad (4.36)$$

em que:

$b$ : variável reduzida;

$\mu_y$ : média da amostra reduzida, em função do tamanho da amostra;

$\sigma_y$ : desvio padrão da variável reduzida, em função do tamanho da amostra;

$T$ : período de retorno.

O  $\mu_y$  e  $\sigma_y$  são obtidos sobre a série das variáveis reduzidas  $y_i$ , que são em função do tamanho da amostra  $N$ :

$$y_i = -\ln\left(-\ln\left(\frac{N+1-i}{N+1}\right)\right) \quad (4.37)$$

logo:

$$\mu_y = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \quad (4.38)$$

$$\sigma_y = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \mu_y)^2}{N} \quad (4.39)$$

#### 4.6.2 Distribuição Log-Normal tipo II

Conforme Kite (1988), para série gerada a partir dos logaritmos dos eventos da série de dados, o fator de frequência é calculado da seguinte forma

$$K = \frac{e^{\left(\sqrt{\ln(z^2+1)} \sigma_p - \left(\frac{\ln(z^2+1)}{2}\right)\right)} - 1}{z} \quad (4.40)$$

sendo

$$z = \frac{\sigma}{\mu} \quad (4.41)$$

$$\sigma_p \simeq w - \frac{2.515517 + 0.802853 w + 0.010328 w^2}{1 + 1.432788 w + 0.189269 w^2 + 0.001308 w^3} \quad (4.42)$$

$$w = \sqrt{\ln \frac{1}{(1/T)^2}} \quad (4.43)$$

em que:

$\sigma_p$ : desvio padrão padronizado;

$\sigma$ : desvio padrão dos eventos da amostra; e

$\mu$ : média dos eventos da amostra.

### 4.6.3 Distribuição Log-Normal tipo III

Segundo Kite (1988), para série gerada a partir dos logaritmos dos eventos da série de dados, o fator de frequência é calculado da seguinte forma

$$K = \frac{e^{\left(\sqrt{\ln(z_2^2+1)} \sigma_p - \left(\frac{\ln(z_2^2+1)}{2}\right)\right)} - 1}{z_2} \quad (4.44)$$

sendo

$$z_2 = \frac{1 - \omega^{\frac{2}{3}}}{\omega^{\frac{1}{3}}} \quad (4.45)$$

$$\omega = \frac{-\gamma + \sqrt{\gamma^2 + 4}}{2} \quad (4.46)$$

$$\gamma = \frac{N}{(N-1)(N-2)} \sum_{i=1}^N \left( \frac{(x_i - \mu)^3}{\sigma^3} \right) \quad (4.47)$$

em que:

$x_i$ : i-ésimo evento da amostra;

$\gamma$ : assimetria (Equação 4.47);

### 4.6.4 Distribuição Pearson tipo III

É também conhecida com Distribuição Gama Tipo III.

Segundo Kite (1988), o fator de frequência é calculado da seguinte forma

$$K = \sigma_p + (\sigma_p^2 - 1) \left(\frac{\gamma}{6}\right) + \frac{1}{3} (t^3 - 6\sigma_p) \left(\frac{\gamma}{6}\right)^2 - (\sigma_p^2 - 1) \left(\frac{\gamma}{6}\right)^3 + t \left(\frac{\gamma}{6}\right)^4 + \frac{1}{3} \left(\frac{\gamma}{6}\right)^5 \quad (4.48)$$

### 4.6.5 Distribuição Log-Pearson tipo III

É também conhecida com Distribuição Log-Gama Tipo III.

De acordo com Kite (1988), o fator de frequência é calculado segundo as mesmas equações descritas para Pearson tipo III, porém a série de dados é gerada a partir dos logaritmos dos eventos.

#### 4.6.6 Distribuição Weibull

Recomendada para série de eventos mínimos e seu fator de frequência é dado, conforme Kite (1988) por

$$K = A_\alpha + B_\alpha \left( \left( -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right) \quad (4.49)$$

$$\alpha = \frac{1}{0.277777 + 0.31326 \gamma + 0.05756 \gamma^2 - 0.00130 \gamma^3 - 0.00815 \gamma^4} \quad (4.50)$$

Esta equação só tem validade para o valor de  $\alpha$  entre  $-1.02$  e  $2.00$ .

$$A_\alpha = \left( 1 - \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\alpha} \right) \right) B_\alpha \quad (4.51)$$

$$B_\alpha = \frac{1}{\sqrt{\Gamma \left( 1 + \frac{2}{\alpha} \right) - \Gamma^2 \left( 1 + \frac{1}{\alpha} \right)}} \quad (4.52)$$

em que

$$\Gamma(X) = \int_0^\infty X^{\lambda-1} e^{-x} dx \quad (4.53)$$

em que

$\Gamma(X)$ : é a função Gamma.

#### 4.6.7 Intervalo de confiança

O módulo de Análise estatística também apresentará o intervalo de confiança associado ao cálculo da magnitude dos eventos. O nível de confiança empregado será de 95%, e, segundo Kite (1988), as estimativas dos limites do intervalo são dadas por

$$M - 1.96 \delta < \beta < M + 1.96 \delta \quad (4.54)$$

em que:

$M$ : magnitude do evento;

$\delta$ : erro padrão pertinente a cada função de probabilidade; e

$\beta$ : intervalo de confiança ao nível de confiança de 95%

## 4.7 Ottocodificação

A metodologia de Otto Pfafstetter é aplicada inicialmente para o continente (Figura 10), com numeração sequencial no sentido horário, a partir do Norte. Os códigos são aplicados às quatro maiores bacias hidrográficas identificadas, que drenam diretamente para o mar, sendo-lhes atribuídos os Algarismos pares 2, 4, 6 e 8, no sentido de jusante para montante do fluxo do rio principal. Os outros tributários do rio principal são agrupados nas áreas restantes, denominadas interbacias, que recebem, no mesmo sentido, os Algarismos ímpares 1, 3, 5, 7 e 9. À maior bacia fechada é atribuído o código 0 (zero).

Após a divisão em nível continental, a ottocodificação deve obedecer aos seguintes princípios básicos (Figura 9):

- O curso d'água principal de uma bacia será sempre o que apresentar maior área de contribuição a montante;
- A partir da identificação do curso d'água principal, codificam-se suas bacias afluentes por área de contribuição;
- As quatro bacias maiores recebem códigos pares, que são atribuídos de jusante a montante: a bacia mais a jusante é a de código 2, a bacia imediatamente a montante desta recebe o código 4, a próxima recebe o código 6 e a mais a montante de todas, o código 8;
- As interbacias recebem códigos ímpares, sendo a da foz a número 1, a interbacia entre as bacias 2 e 4 recebe o valor 3, e assim por diante, até a última bacia de montante, que recebe o número 9.

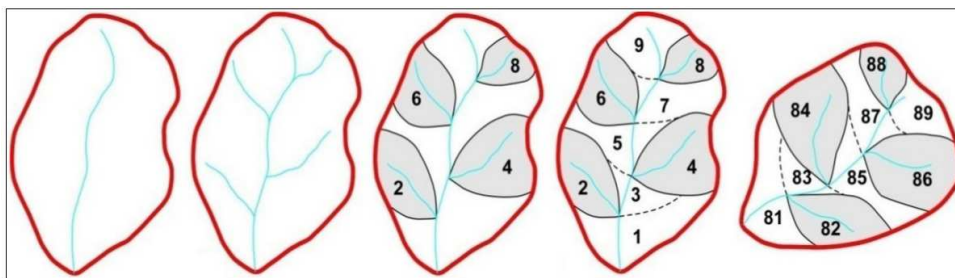


Figura 9: Esquema da subdivisão de uma bacia pela metodologia de Otto Pfafstetter. Fonte: Buarque et al. (2008).

O módulo computacional desenvolvido para automatização do processo de ottocodificação, especifica como requisitos de entrada os mapas da rede de drenagem no formato ASCII (.txt), sendo eles:

- MDE: O modelo digital de elevação;

- Direção de fluxo: O *raster* referente à direção do escoamento em cada célula do terreno, e;
- Fluxo acumulado: O *raster* referente à acumulação de fluxo em cada célula do terreno.

Para compatibilizar os *rasters* com o formato de entrada deste módulo devem ser utilizadas ferramentas de conversão de *raster* para *ASCII*, oferecidas nos principais Sistemas de Informações Geográficas (SIGs).

Assim que os mapas são carregados, é necessário definir quais pontos do terreno representam a hidrografia. O *raster* referente ao fluxo acumulado não é capaz por si só de efetuar a definição dos trechos de rio, pois a informação que cada uma de suas células contém é um número inteiro, que representa a quantidade de unidades de água que chega até ele (acumulação de fluxo). Assim sendo, é indispensável a intervenção humana nesta etapa, para definir, por meio de estudos e conhecimentos de campo, a partir de qual valor  $w$  uma célula será considerada pertencente ou não à hidrografia. Por exemplo, supondo que após estudos de campo seja definido que o valor  $w$  mínimo para que uma célula pertença a hidrografia seja 400. Então, o algoritmo se encarregará de percorrer toda a extensão do mapa marcando como hidrografia as células que sejam maior ou igual a este valor (400). Ao final deste procedimento, terão sido criados todos os trechos de rio que serão utilizados no processo de ottocodificação. Cabe ressaltar que este valor  $w$  é subjetivo e sua obtenção é de inteira responsabilidade do usuário.

Como os trechos de rio são determinados pelo valor de  $w$ , quanto maior o valor de  $w$ , menor será a quantidade de células do terreno que atenderão a condição. Portanto, menor será a quantidade de trechos de rio para serem ottocodificados. O inverso também se aplica; quanto menor o valor  $w$ , maior será a quantidade de células, conseqüentemente será maior o conjunto de trechos de rio que serão ottocodificados.

O processo de determinação da ottocodificação feito pelo sistema computacional, além de classificar cada um dos trechos de rio, demarca os limites da ottobacia, destacando com cores distintas a área de contribuição (do trecho analisado) da área de montante.

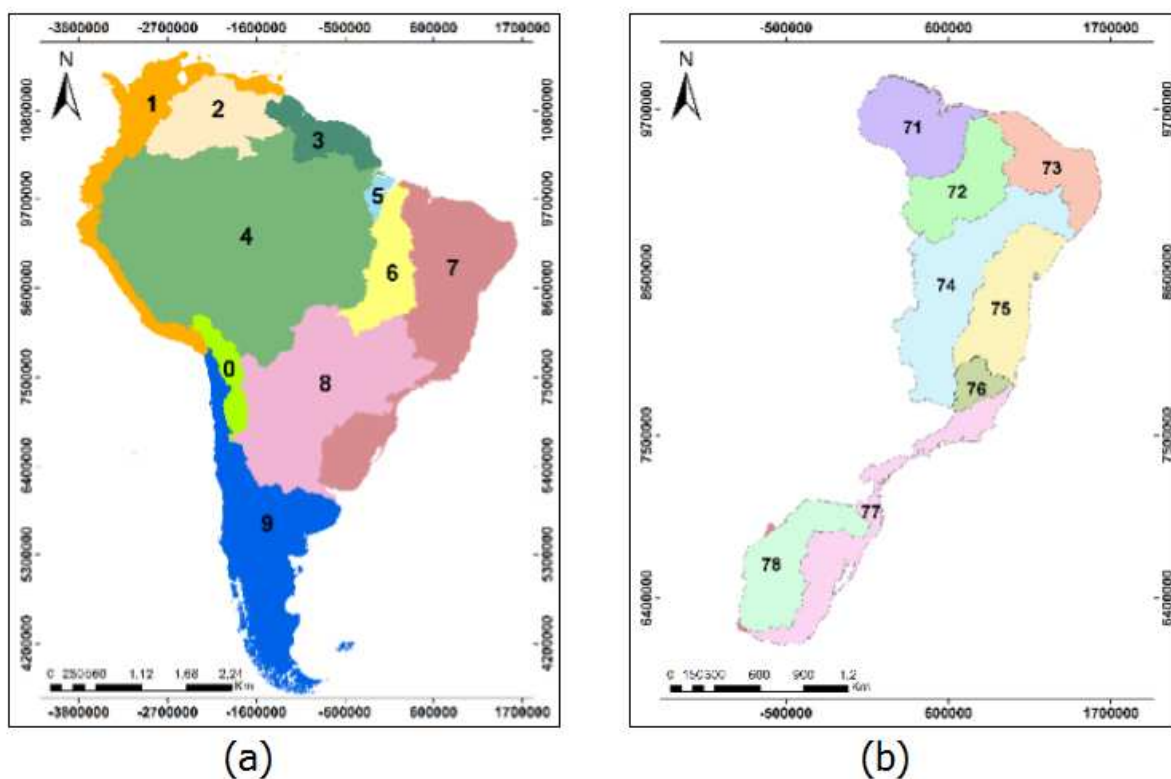


Figura 10: Ottocodificação (a) Continental América do Sul. (b) Nível 1 - Região hidrográfica 7.

Para cada trecho etiquetado com o ottocódigo, o módulo apresenta como resultado complementar as seguintes informações: o comprimento do trecho do rio, as coordenadas dos pontos mais a montante e mais a jusante do trecho, a distância do ponto mais a jusante à foz da bacia, a área de contribuição e a área a montante. Para melhorar a análise da ottobacia foram implementadas as funcionalidades "*aproximação de mapa*" e "*salvar mapa (ASCII)*", formato que pode ser importado pelos principais SIG's.

## 5 Resultados

### 5.1 Integração com Hidroweb

O *software Web Service* tem por finalidade oferecer ferramentas que facilitem o *download* de estações fluviométricas e pluviométricas advindas do sistema Hidroweb da ANA. Conforme fluxograma apresentado na Figura 6 este sistema funciona de forma integrada à entrada de dados dos demais sistemas do *Hydrology Plus*. O fluxograma que descreve o seu funcionamento está demonstrado na Figura 11.

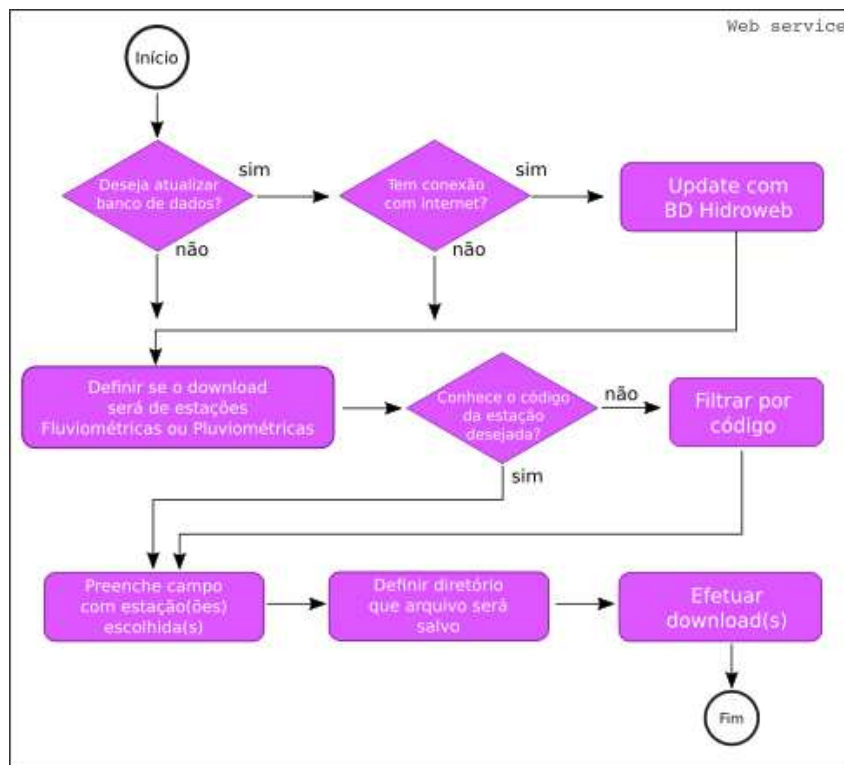


Figura 11: Fluxograma do Web Service.

A Figura 12 ilustra a tela principal do sistema *Web Service* tanto para o *download* de séries de vazões quanto de chuvas. O chaveamento para seleção de uma base dados ou outra é feita pelo *radio button* superior cujos nomes estão autoexplicativos.

Para efetuar o *download* de um estação o usuário deve inserir o código no campo *Stations choosen*, definir o diretório em que o arquivo ".txt" será salvo e pressionar o botão *download*. Caso exista registros de vazão ou chuva para a estação desejada, efetua-se o *download*, salva-se o arquivo no local estipulado e por fim emite-se a mensagem de sucesso. Caso contrário, notifica-se ao usuário da inexistência de dados.

O campo *Filter by code station*, é um ótimo recurso quando o usuário desconhece

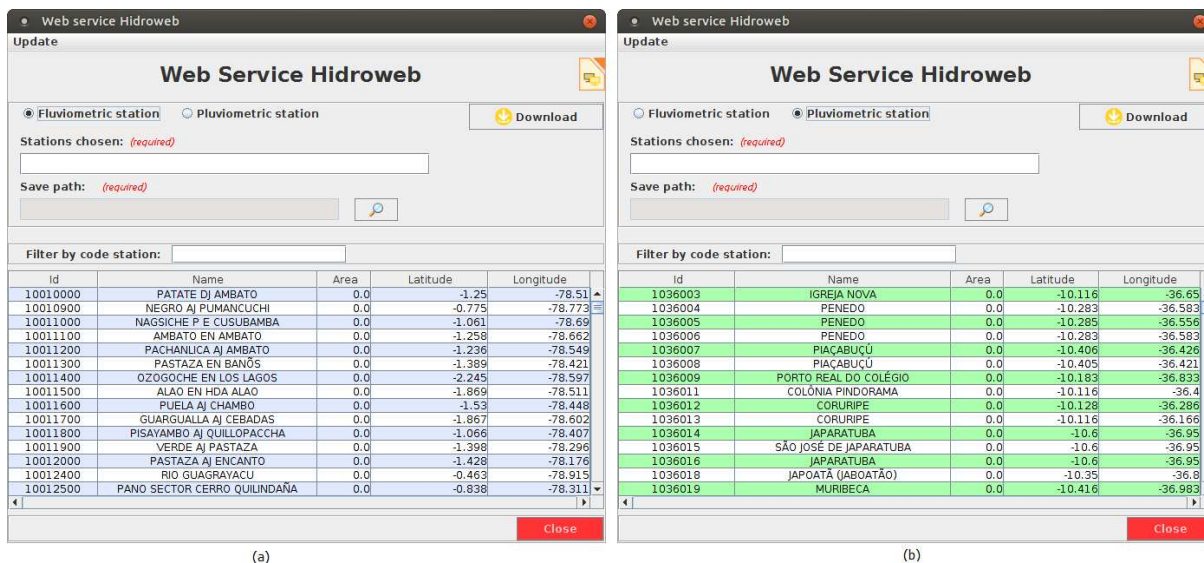


Figura 12: (a) Tela do Web Service para estações fluviométricas. (b) Tela do Web Service para estações Pluviométricas.

o código exato de uma estação. Seu funcionamento interativo permite que o usuário filtre o banco de dados a partir de cada novo caractere digitado. Este processo está ilustrado na Figura 13 no qual foram digitados os caracteres "10011", sendo então filtrado o banco de dados pelo *software* com as estações iniciadas em "10011".

Ao aplicar o filtro e reduzir a lista de estações, o usuário facilita e torna mais precisa sua busca pela estação almejada. Para evitar que o usuário digite o código da estação escolhida no campo *Stations choosen* e dinamizar o processo, o sistema oferece a função do duplo clique do *mouse*, que executa o preenchimento automático deste campo com a estação selecionada.

Outro ponto passivo de otimização contemplado no *Web Service* é o *download* de múltiplas estações. Para baixar uma lista contínua de estações, da estação 100111000 até a 100111800 que totalizam 9 estações, o usuário deve utilizar o símbolo ":" entre a primeira e a última conforme apresentado na Figura 13(a). Para baixar uma lista discreta, a estação 100111000, 100111300 e a 100111900 que totalizam 3 estações, o usuário deve utilizar o símbolo ";" entre cada uma delas conforme a Figura 13b.

Finalmente, será apresentado a funcionalidade *update*. Com o passar dos anos, a base de dados da ANA sofre alterações quanto a novas séries de dados, novos dados consistidos e, para efetuar o sincronismo da base de dados do sistema *Web Service* com o Hidroweb da ANA o usuário vale-se desta funcionalidade. Ela pode ser acessar no menu "*Update > UpdateStationlisttoHidroweb*". Ressalta-se que este procedimento pode ser muito lento de acordo com a velocidade da internet do usuário e ou nível de demanda do servidor Hidroweb. Além disso, esta funcionalidade pode ser utilizada a qualquer momento

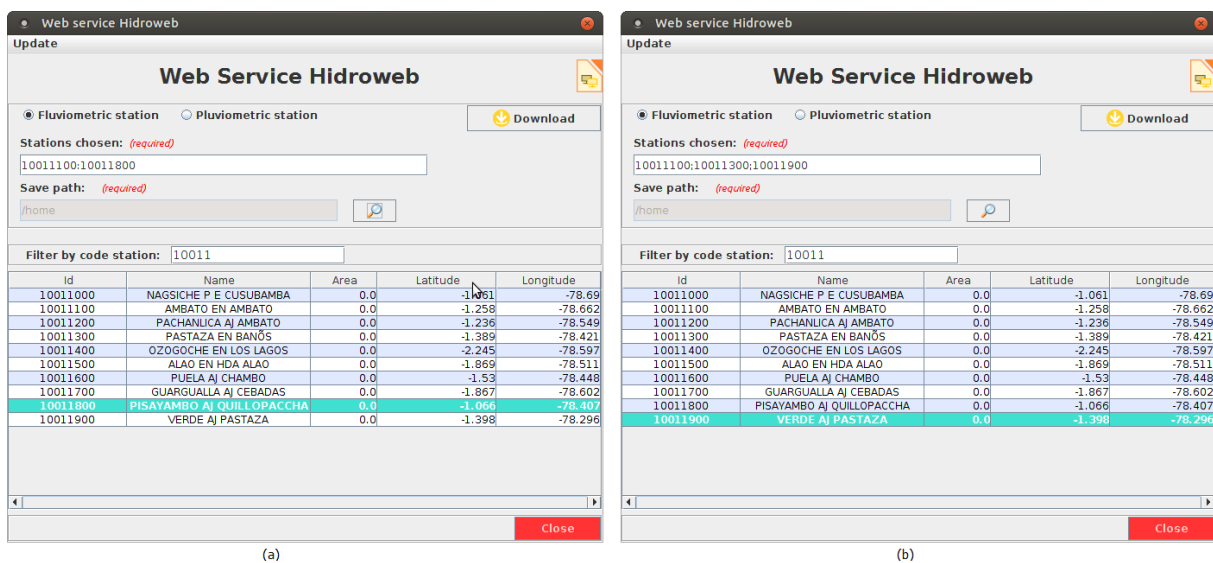


Figura 13: *Download* de múltiplas estações.(a) Lista contínua (b) Lista discreta.

que o usuário desejar.

## 5.2 Pré-processamento

O *software* tem como finalidade realizar análises preliminares de dados históricos de vazão e precipitação. A análise dos dados será melhor descrita a seguir por meio de imagens e textos descritivos.

A Figura 14 ilustra a tela inicial do sistema *Hydrology Plus – Preliminary analysis*, composta por um botão de chamada "análise preliminar" e outro para o encerramento do programa.

Na Figura 15, é apresentada a tela propriamente dita do *Preliminary Analysis*, em que o usuário pode criar um novo projeto pela da opção "New Project"; abrir um projeto previamente criado no menu "Open Project" e fechar o projeto que estiver aberto selecionando "Close Project". Também estão disponíveis as opções "Save", que salva o projeto com o nome de origem, e "Save as" que salva o projeto com um novo nome. A opção "Exit" fecha a tela atual e retorna à tela da Figura 14.

### 5.2.1 Gerenciamento de projetos

Uma vez escolhida a opção "Project management" o sistema direcionará o usuário para o módulo de gerenciamento de projetos. No estado inicial da tela é apresentado os botões *New*, *Edit*, *Cancel*, *Delete* e *Save*, uma *grid* com os projetos existentes e um campo "Search project" para busca por nome de projeto. A dinâmica da tela é de acordo com as escolhas do usuário. Inicialmente os botões *Cancel* e *Save* estão desabilitados (Figura

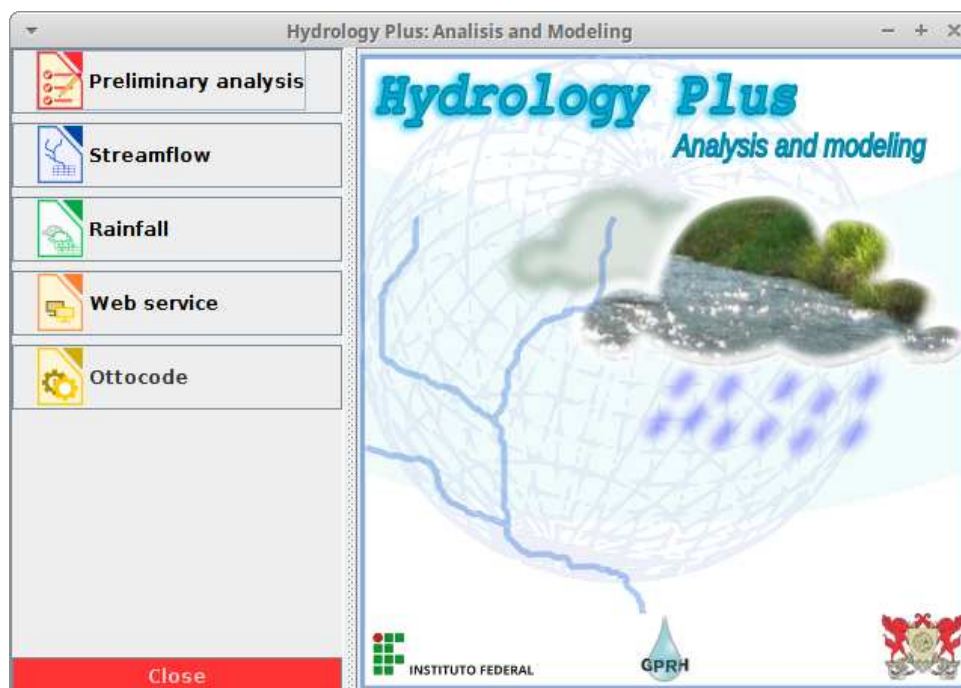


Figura 14: Tela inicial da plataforma com os quatro sistemas funcionando de forma integrada.

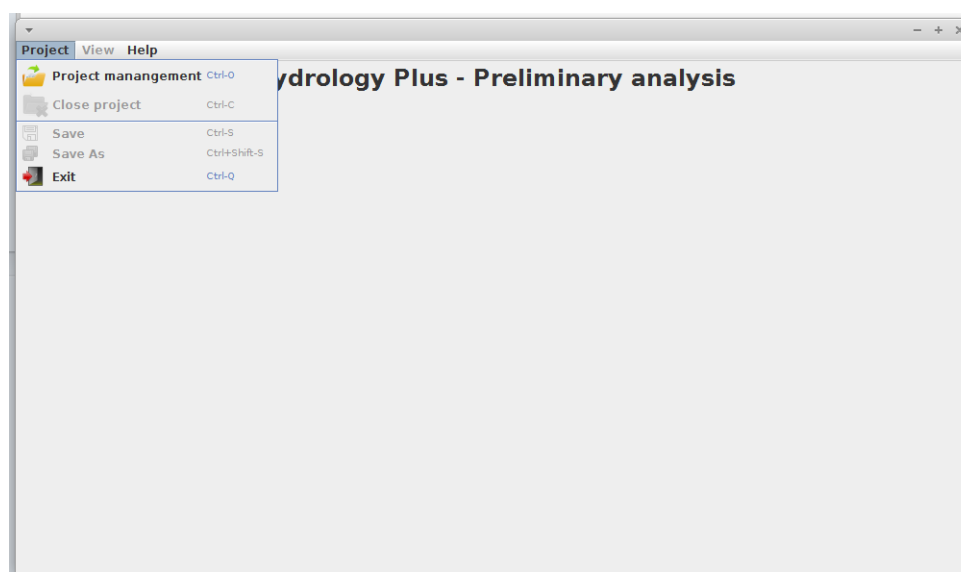


Figura 15: Tela inicial do software *Preliminary Analysis*.

16) visto que não há nada para ser cancelado ou salvo, dado que não há nenhum registro em edição ou criação. Entretanto, quando o botão *New*, referente a criação de um novo projeto, ou o botão *Edit* são pressionados, os botões *Cancel* e *Save* são habilitados, pois a qualquer momento o usuário poderá cancelar ou salvar o projeto.

Os botões *New*, *Edit*, e a *grid* são desabilitados (Figura 17) visto que, não faz sentido criar um novo projeto ou editar um outro projeto, ou ainda, selecionar algum registro na *grid* quando já está ocorrendo alguma criação ou edição de projeto. Estas funcionalidades são essenciais para que o sistema mantenha sua consistência, minimizando

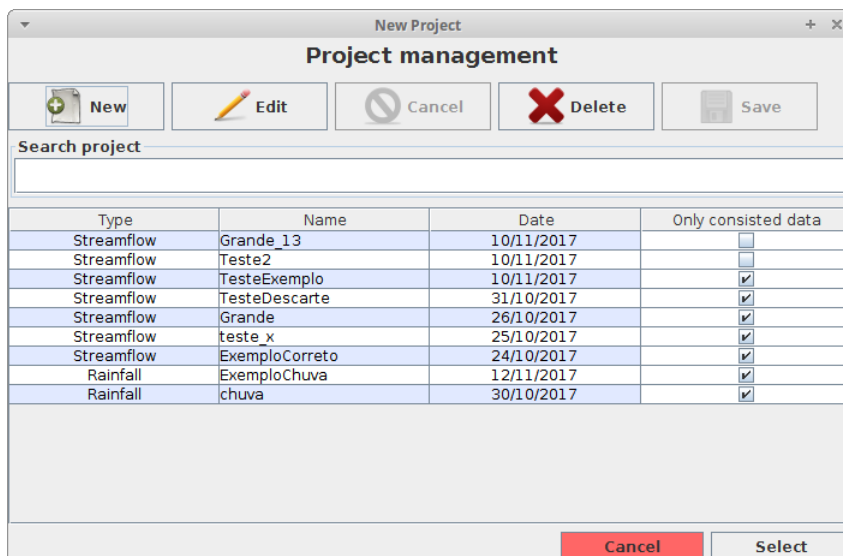


Figura 16: Módulo de gerenciamento de projetos.

sua vulnerabilidade a ações inconvenientes do usuário.

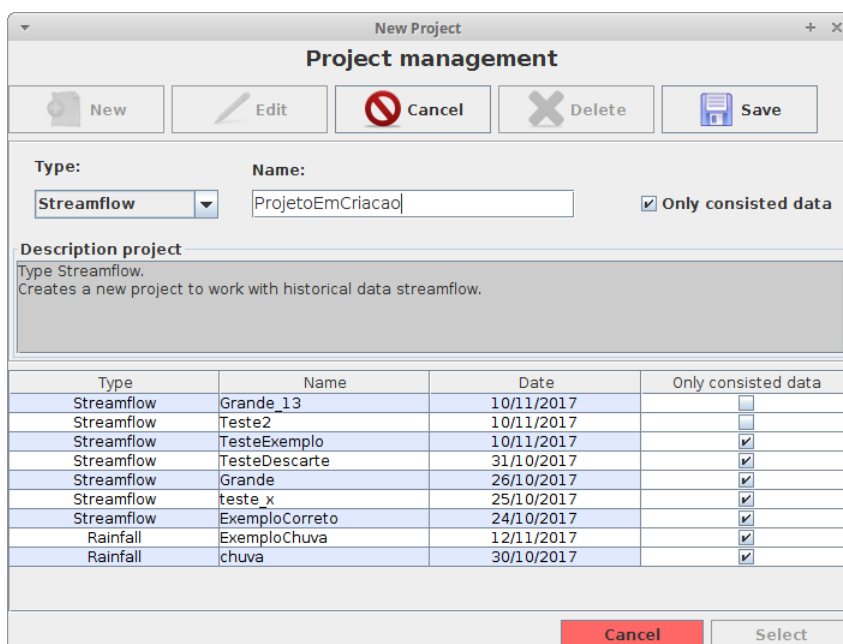


Figura 17: Módulo de gerenciamento de projetos.

Ao pressionar o botão *New*, são apresentados ao usuário os campos necessários para o preenchimento e criação de um novo projeto. O primeiro campo é "*Type*" que se refere ao tipo de estação (fluviométrica ou pluviométrica) que será manipulada pelo *software*. As opções de tipo de projeto são: Rainfall ou Streamflow, que trabalham com séries históricas de precipitação ou vazão, respectivamente.

No intuito de auxiliar o entendimento do usuário o campo "*Description project*", uma breve descrição de cada uma das opções é apresentada. Este campo é dinâmico e altera sua mensagem a medida que o valor do campo "*Type*" é alterado.

A próxima informação a ser inserida é o nome do projeto em criação e deve ser digitada no campo "*Name*". A sugestão é que se dê nomes sugestivos para os projetos, para que no futuro, quando a coleção de projetos for maior, o usuário não faça confusões entre os seus projetos.

Uma informação muito importante a ser definida é o questionamento do *checkbox* "*Only consisted data*", que por *default* está marcado. Nele, o sistema deseja saber se, no projeto em criação, são considerados apenas os dados consistidos pela ANA. Caso se deseje trabalhar apenas com os dados que foram consistidos pelos profissionais da ANA, o *checkbox* deve ser marcado, caso contrário, ao desmarcá-lo, o sistema também fará uso, em seus cálculos e apresentações, dos dados brutos, que ainda não passaram pelo processo de validação.

Feito o preenchimento de todos os campos requisitados, o usuário deverá efetivar a operação de criação através do clique no botão *Save*. Ao fazer isso, o *software* salvará o novo projeto no banco de dados com a data do dia corrente; atualizará a *grid* de projetos existentes; e, esconderá os campos para o preenchimento ou alteração (Figura 17).

Ao escolher um registro na *grid* e clicar no botão *Edit*, o sistema se comportará de maneira análoga ao clique no botão *New*.

O botão *Cancel*, quando pressionado, irá efetuar o cancelamento de uma criação ou edição de projeto.

Finalmente, o botão *Delete*, quando clicado, efetuará a exclusão do projeto desejado. E por questões de segurança, antes de excluir o projeto é apresentado um questionamento ao usuário conforme apresentado na Figura 18.

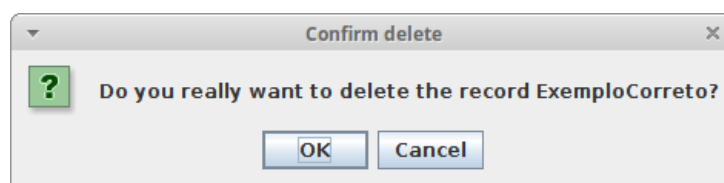


Figura 18: Diálogo para confirmação de exclusão de projeto.

A medida que se utiliza o *software*, e a quantidade de projetos aumenta, tarefas simples como selecionar um projeto existente ou editar alguma propriedade de um determinado projeto pode se tornar difícil. Afinal para ambas as tarefas serem feitas é necessário que se encontre o projeto desejado. Neste sentido, foi implementado um filtro dinâmico para a lista de projetos existentes.

O campo específico para este papel é o "*Search project*", no qual à medida que o preenchimento é feito, o sistema dispara os mecanismos de busca e atualização da *grid*. A Figura 19 ilustra o comportamento do filtro para projetos iniciados pelos caracteres "*Exemplo*". Note que a busca é feita pelo nome, independentemente do tipo do projeto

ser (*Rainfall* ou *Streamflow*). Para que o módulo apresente novamente todos os projetos existentes, é necessário que o campo *Search project* seja limpo.

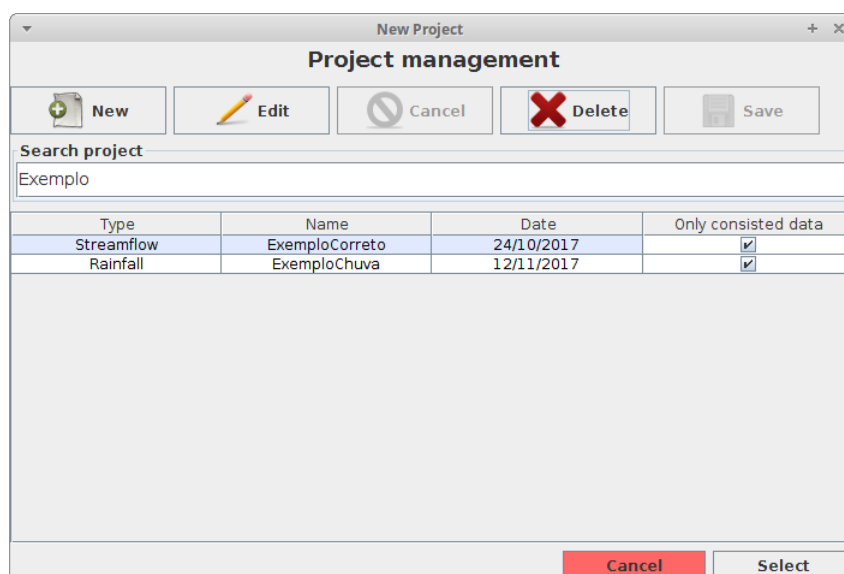


Figura 19: Filtro dinâmico dos projetos existentes.

Finalmente, para abrir um projeto, basta selecionar diretamente na *grid* e clicar no botão *Select*. Então o projeto será aberto e apresentado na tela principal do *software Preliminary Analysis*, conforme a Figura 20.

## 5.2.2 Análise dos dados

A Figura 20 apresenta um projeto de dados históricos de precipitação aberto. Ressalta-se que quando necessário serão apresentadas também telas referentes ao projeto "*Streamflow*". Pela imagem é possível ter uma visão geral das principais funcionalidades, que serão melhor descritas a seguir, em imagens recortadas. De forma geral, a tela é subdividida em dois grandes *frames*, um menor, à esquerda, denominado *Base de Dados de Trabalho (BDT)*, com as estações abertas, e um maior, à direita, denominado *Conteúdo*, com diversas formas de visualização e análise dos dados. O *frame Conteúdo* foi subdividido em três abas:

1. **Station:** apresenta os dados em base diária, isto é, todos os cálculos e visualizações são para os dados diários;
2. **Monthly base:** apresenta os dados em base mensal, apresentando os dados mês a mês;
3. **Annual base:** apresenta os dados em base anual.

Na parte superior da tela, além do título "*Hydrology Plus – Preliminary analysis*" estão postos os botões "*Box plot*", "*Stationarity*" e "*Discard data*", referentes ao *software*

“Preliminary analysis”. No Menu principal, contém o menu *Project*, o menu *Tools*, o menu “View” e menu *Help*.

Month/Year	Situation	% Fails	Day 01	Day 02	Day 03	Day 04	Day 05	Day 06	Day 07	Day 08	Day 09	Day 10
Jan/1962	No data	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Feb/1962	No data	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar/1962	No data	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Apr/1962	No data	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
May/1962	No data	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jun/1962	No data	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jul/1962	No data	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aug/1962	No data	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sep/1962	No data	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oct/1962	Fail	70.967	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nov/1962	Complete	0.0	12.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	19.000	26.400	20.600	0.000
Dec/1962	Complete	0.0	0.000	23.800	0.000	0.000	8.000	0.000	17.400	0.000	15.200	0.000
Jan/1963	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	31.200	0.000	0.000	0.000	5.200	0.000	0.000
Feb/1963	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mar/1963	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Apr/1963	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
May/1963	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Jun/1963	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Jul/1963	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Aug/1963	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sep/1963	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Oct/1963	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Nov/1963	No data	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dec/1963	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Jan/1964	No data	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Feb/1964	Complete	0.0	40.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mar/1964	No data	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Apr/1964	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
May/1964	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Jun/1964	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Jul/1964	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Figura 20: Projeto do tipo *rainfall* aberto no software “Preliminary analysis”.

### 5.2.2.1 Base de Dados de Trabalho (BDT)

Uma das principais propostas deste estudo é oferecer ao usuário a possibilidade de trabalhar com multiestações, ou seja, abrir várias estações num mesmo projeto. A este conjunto de estações abertas pertencentes a um mesmo projeto será dado o nome Base de Dados de Trabalho ou apenas BDT. Na Figura 20, o *frame* à esquerda é reservado para a Base de Dados de Trabalho (BDT), sendo para este exemplo o “*ExemploChuva*” que trata de dados de chuva. A Figura 21 evidencia a BDT (a) para um projeto *Streamflow* e (b) para um projeto *Rainfall*, respectivamente. A diferença entre os projetos se dá pela presença ou não da coluna “*Area*” e do botão “*Edit*” que são essenciais para análise de uma estação fluviométrica.

Na tabela referente à BDT, o sistema faz a leitura dos dados históricos e os organiza em código da estação (primeira coluna), período no qual a série histórica possui dados (segunda coluna) e área de contribuição (terceira coluna), caso a estação seja fluviométrica. Ao efetuar a organização, o sistema propicia ao usuário uma visão simples e clara da coleção de dados com a qual ele vai trabalhar.

O fato de abrir simultaneamente múltiplas estações e apresentar o período de dados de cada uma delas, provê ao usuário a comparação dos anos, facilitando a percepção e definição do período base que se deve trabalhar. A diante, será apresentada a aba de disponibilidade dos dados, que efetivamente será utilizada para definir o período base de estudo.

(a)

Station	Period	Area
42440000	[1973 - 2007]	552.0
42460000	[1972 - 2007]	3890.0
42490000	[1964 - 2005]	5360.0
42545500	[1972 - 2007]	679.0
42546000	[1973 - 2007]	552.0
42600000	[1956 - 2007]	9400.0
42540000	[1956 - 2007]	5910.0

(b)

Station	Period
01546000	[1962 - 2005]
01546001	[1973 - 2005]
01546005	[1973 - 2005]
01547001	[1969 - 2007]
01547002	[1973 - 2012]
01547012	no consisted
01547016	no consisted

Figura 21: (a) *Frame* das estações abertas para projeto *Streamflow*. (b) *Frame* das estações abertas para projeto *Rainfall*.

A Base de Dados de Trabalho de um projeto do tipo *Rainfall*, apresentado na Figura 21b chama atenção para o conteúdo "*no consisted*" da coluna *Period* das estações pluviométricas *01547012* e *01547016*. Esta informação destaca que ambas as estações (*01547012* e *01547016*) possuem dados de chuva, porém nenhum dos dados existentes em suas séries históricas são consistidos. Assim, a estação é aberta na BDT, mas não executa nenhuma ação caso seja selecionada, existindo apenas para que o usuário saiba quantas estações fazem parte do projeto aberto. Cabe lembrar que, este fato ocorre porque o projeto em questão está definido para trabalhar apenas com dados consistidos; característica esta, definida na tela de Gerenciamento de Projeto (Figura 16) através da marcação do *checkbox* "*Only consisted data*".

Supondo que o usuário acesse o módulo Gerenciamento de Projetos e altere o projeto para que aceite dados brutos, o conteúdo "*no consisted*" da coluna *Period* das estações pluviométricas *01547012* e *01547016* (Figura 21b) dará lugar ao período em que as estações possuam dados.

A BDT é de fundamental importância para as principais funcionalidades do *software*. É através dele que uma estação é escolhida para efetuar a análise preliminar. Ao escolher uma estação, esta sofre diversas ações e processamentos, que são apresentados no *frame* Conteúdo da direita (Figura 25), por meio de tabelas, gráficos e textos.

### 5.2.2.2 Adicionar e remover estações

Os botões "*Add*" e "*Delete*" possibilitam ao usuário a inserção/abertura de uma nova estação pluviométrica/fluviométrica e a remoção/fechamento de alguma estação, respectivamente. O sistema aceita apenas estações advindas do portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas no formato texto ("*.txt*").

A Figura 22, apresenta o módulo específico para inserção de estações fluviométricas ou pluviométricas em projeto aberto. A tela é muito semelhante ao sistema *WebService* justamente para manter o padrão da aplicação. Nesta janela estão disponíveis para o usuário duas formas de adicionar as estações, a primeira, através da importação direta

do site Hidroweb, a segunda é através do *load* de uma estação (arquivo ".txt") que já foi baixada previamente. Estas funcionalidades estão associadas ao clique dos botões *Import Hidroweb* e *Load (.txt)*, respectivamente.

Na utilização da funcionalidade Importar do Hidroweb, o usuário deve informar o código da estação desejada no campo "*Stations chosen*" e clicar no botão "*Import Hidroweb*". Também foi implementada a funcionalidade de *download* de múltiplas estações. Para isso o usuário pode informar uma lista contendo duas ou mais estações separadas pelo caractere ";" que o sistema se encarrega de fazer a busca na internet. Uma outra forma de efetuar o *download* de múltiplas estações é informando dois (o primeiro e o último) códigos separados pelo caractere ":". Neste caso o *software* faz a leitura do código da primeira e da última estações da lista, pesquisa na base de dados todas as estações que possuem código maior que o código da primeira e menor que o código da última e dispara o *download* de cada uma delas.

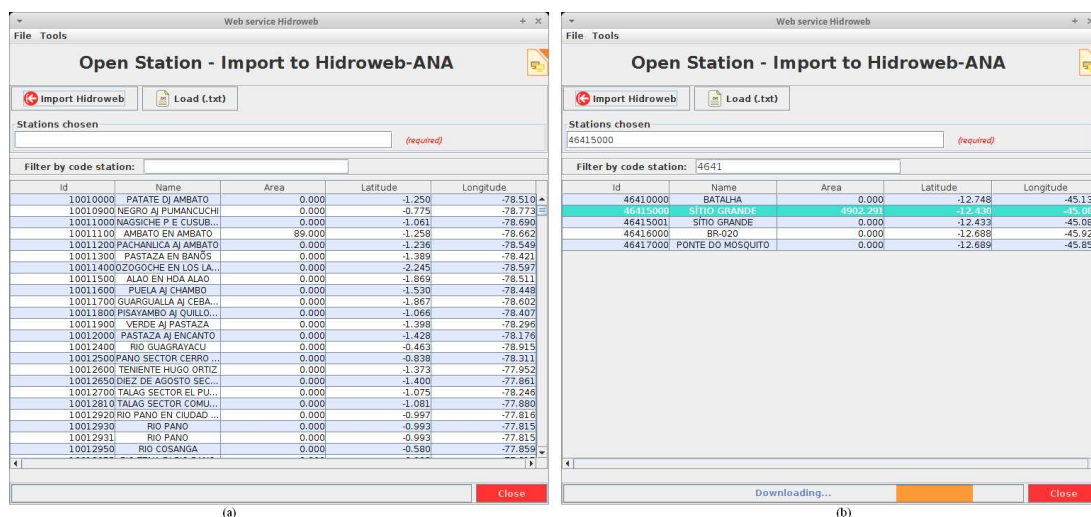


Figura 22: Caixa de diálogo para abrir uma estação fluviométrica.

Outra rotina que otimiza o processo de busca e inserção de uma estação é o filtro dinâmico que esta tela oferece. Para encontrar a estação que será adicionada, o usuário deve inserir os códigos iniciais no campo "*Filter by cod station*" e em tempo real a pesquisa é feita e a lista de estações é atualizada. A Figura 22b ilustra a dinâmica do preenchimento do campo "*Filter by cod station*" supondo que o usuário digite os valores "4641", o *software* filtra a *grid* pelas estações que possuem código iniciado com este valor. Quando a estação almejada é encontrada, o usuário deve transcrever o código para o campo "*Stations Choose*" ou clicar duas vezes sobre a linha da *grid* que se encontra o registro que, ele será escrito automaticamente no campo "*Stations Choose*". Por fim, a operação de importação deve ser efetivada pressionando o botão *Import Hidroweb*. Neste momento a barra de progresso, no inferior da tela é ativada indicando que o processo "*downloading*" está em execução. Ao final da tentativa de busca no site da ANA, o sistema emite uma mensagem de sucesso ou não e desliga a barra de progresso.

O botão "*Load (.txt)*", ao receber o clique do usuário, inicia o processo de abertura de uma série histórica baixada e salva previamente no computador de trabalho. Um cuidado que se deve ter, é em relação à data em que a série histórica de uma determinada estação foi baixada, visto que a qualquer momento a ANA pode atualizar seus dados históricos sem nenhum aviso ou comunicado. Esta política de atualização da ANA gera dificuldades na replicação e validação dos estudos pautados em séries históricas. Então, para contornar este tipo de situação, o *software* coloca como obrigatória a informação da data em que série histórica foi baixada.

Assim sendo, quando o botão "*Load (.txt)*" é pressionado, a caixa de diálogo (Figura 23) aparece para ser preenchida com a data em que os arquivos foram baixados.

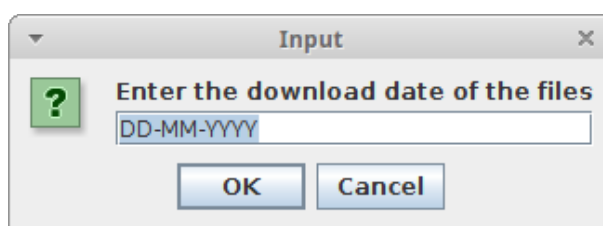


Figura 23: Diálogo para definição da data de *download*.

Na sequência, o usuário seleciona em seu computador os arquivos que já estavam baixados previamente (Figura 24).

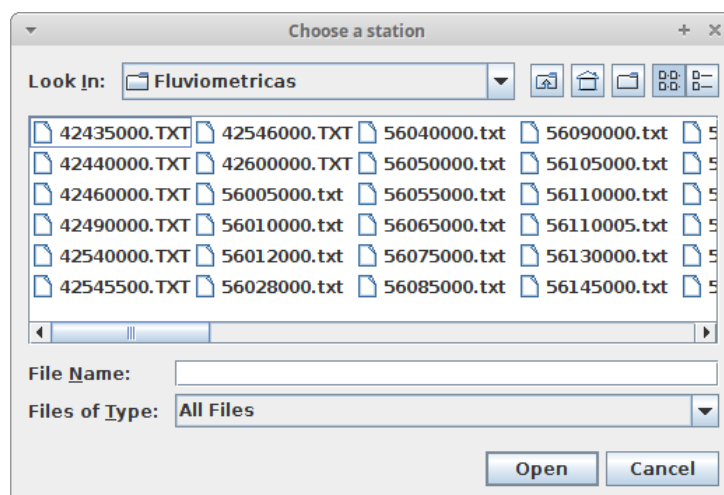


Figura 24: Caixa de diálogo para escolha dos arquivos(".txt") referentes às séries históricas.

Como consequência, uma estação (fluviométrica ou pluviométrica) poderá conter várias séries históricas, sendo uma para cada data de aquisição. Entretanto, pensando em não sobrecarregar o banco de dados com dados "repetidos", foi desenvolvida uma rotina de verificação, onde o sistema analisa a existência de duas ou mais séries históricas, referentes a uma mesma estação e obtidas em datas diferentes, que apresentem séries históricas iguais. Caso exista, o sistema entende que mesmo apresentando datas de obtenções diferentes, os dados das séries históricas são idênticos e portanto não é necessário manter

mais de uma. Neste cenário, o *software* deleta a versão que possui data de aquisição mais antiga e mantém a de data mais recente.

A obrigatoriedade da data de *download* de toda série histórica de uma estação também vale para a funcionalidade "*Import Hidroweb*", mas como esta parte do princípio de buscar o arquivo mais atual no repositório do Hidroweb, o sistema automaticamente define a data de *download* da série histórica como sendo o dia corrente.

### 5.2.2.3 Aba Station

Dentro do *frame Conteúdo* a primeira aba disposta é a aba *Station* (Figura 25) contendo os seus dados em base diária. Devido a relevância de se trabalhar com os dados diários, a aba *Station* foi subdividida da seguinte forma:

Month/Year	Situation	% Fails	Day 01	Day 02	Day 03	Day 04	Day 05	Day 06	Day 07	Day 08	Day 09	Day 10
Jan/1973	Not consi...	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Feb/1973	Not consi...	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar/1973	Not consi...	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Apr/1973	Not consi...	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
May/1973	Not consi...	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jun/1973	Not consi...	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jul/1973	Not consi...	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aug/1973	Fail	58.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sep/1973	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Oct/1973	Complete	0.0	21.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Nov/1973	Complete	0.0	2.599	0.000	25.600	41.599	12.199	12.199	6.800	1.799	0.000	0.000
Dec/1973	No data	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jan/1974	No data	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Feb/1974	Complete	0.0	8.800	8.399	0.000	0.000	2.400	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mar/1974	No data	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Apr/1974	No data	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
May/1974	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	7.400	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Jun/1974	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Jul/1974	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Aug/1974	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sep/1974	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Oct/1974	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	25.100	0.000
Nov/1974	Complete	0.0	11.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.000	0.000	59.000	0.000	70.000
Dec/1974	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	11.100	12.199	4.000	14.300	25.000	0.000	0.000
Jan/1975	Complete	0.0	0.000	68.000	61.000	0.000	0.000	32.000	2.000	0.000	0.000	5.099
Feb/1975	Complete	0.0	0.000	19.200	0.000	16.000	1.000	2.200	17.200	2.000	0.000	0.000
Mar/1975	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Apr/1975	No data	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
May/1975	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Jun/1975	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Figura 25: *Frame* de dados.

1. **Original data:** esta tabela apresenta os dados na sua forma clássica. O sistema apresenta os dados de maneira que cada registro (linha) represente um determinado mês, sendo que suas colunas são os dias do referido mês. Os meses que não possuem dados (devido alguma falha) são representados por "-".

**coluna Situation** : esta coluna informa ao usuário a situação do registro. Como cada registro refere-se a um mês de um determinado ano, esta coluna apresentará a situação do mês/ano. O valor desta coluna poderá ser:

- Not consisted: será informado quando os dados deste mês não são consistentes. A consistência dos dados é de responsabilidade da ANA (Agência Nacional de Águas) e esta informação está contida na serie histórica baixada no HIDROWEB. Todos os registros que possuem esta características são pintados pelo sistema com a cor cinza.
- No data: será informado quando não existir nenhum dado observado para um determinado mês, ou seja, o percentual de falhas é igual a 100%.
- Complete: é apresentado para meses que não possuem falha de nenhuma natureza.
- Fail: será apresentado para meses que possuem algum percentual de falha maior que zero e menor que 100.

**coluna % Fails** : apresenta o percentual de falha de um registro.

2. **Data availability**: a visualização da disponibilidade de dados é de suma importância para os mais diversos estudos de séries históricas, mais ainda quando é necessário comparar os dados de uma série com os de outra. Por esta razão, a aba “*Data availability*” foi desenvolvida (Figura 26) e sua principal finalidade é prover ao usuário um panorama anual da disponibilidade de dados das estações fluviométricas ou pluviométricas utilizadas, permitindo ao usuário a definição de um período base para o estudo com o mínimo de falhas entre as estações disponíveis ou a necessidade do preenchimento de falhas.

A aba é composta por uma *grid* e um gráfico, sendo a grade demarcada por cores que representam uma faixa de percentual de disponibilidade para cada ano, como por exemplo a cor vermelha, que é usada para demarcar os anos que possuem de 0% a 80% de dados, ou seja, os anos que possuem mais de 20% de falhas. Na Figura 27 encontram-se todas as classificações de cores, segundo o percentual de existência de dados de um determinado ano.

Cada linha da grade representa uma determinada estação (fluviométrica ou pluviométrica), e as colunas caracterizam os anos. As quatro últimas linhas do *grid* servem de referência para construção do gráfico. Cada uma dessas quatro linhas finais está rotulada com a faixa e a cor do percentual de disponibilidade definido. Estas linhas funcionam como indicadores de ocorrências. Por exemplo, se fixada a coluna do ano de 1969, cada uma das faixas serão preenchidas com:

- 0% a 80%: com o valor 3, indicando que 3 estações se enquadram na faixa em questão;
- 81% a 89%: com o valor 1, indicando que apenas 1 estação está na faixa em questão;

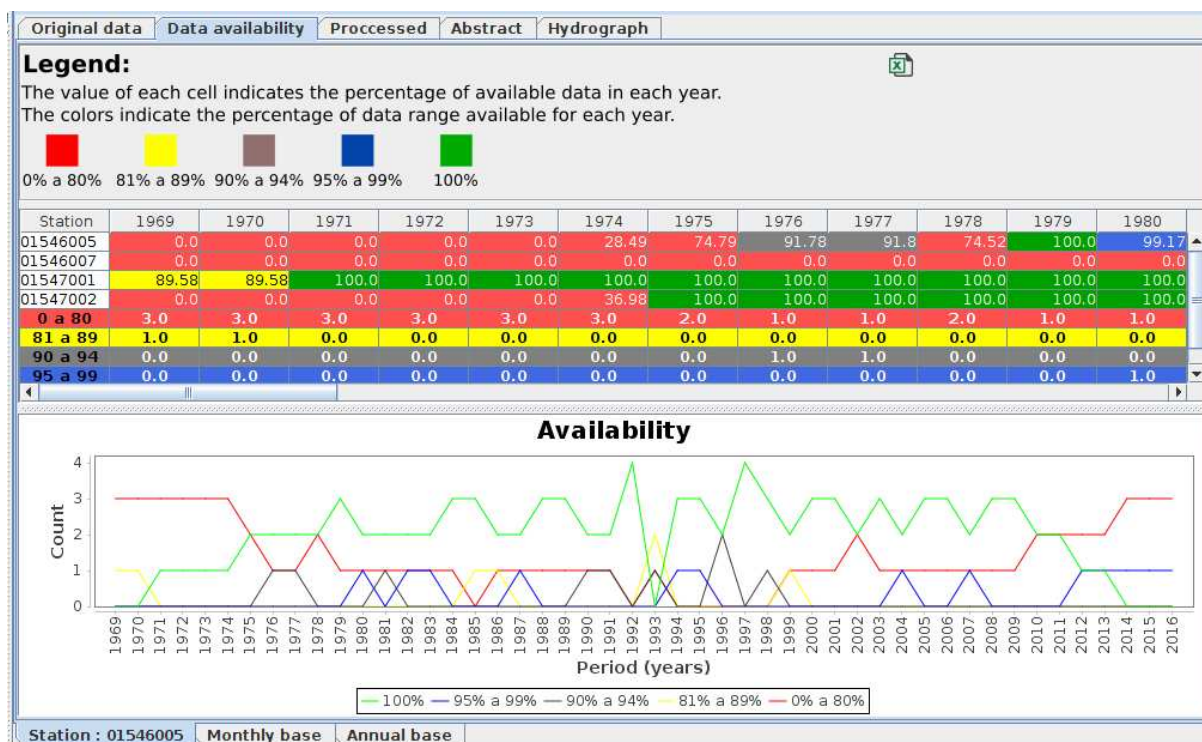


Figura 26: Aba *Data Availability*.

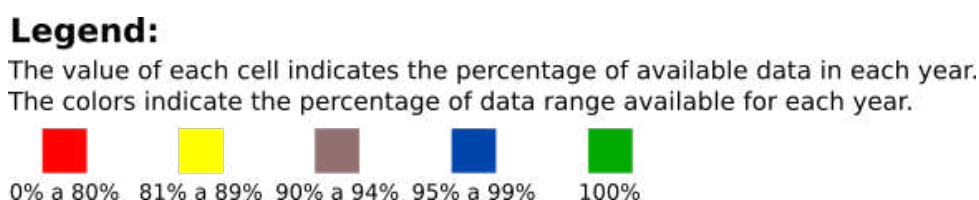


Figura 27: Legenda de disponibilidade de dados.

- 90% a 94%: com o valor 0, indicando que nenhuma estação pertence à faixa em questão;
- 100%: com o valor 0, indicando que nenhuma estação pertence à faixa em questão.

E assim o sistema repete este processo para cada um dos anos (colunas) da tabela. O gráfico é a ilustração para as informações contidas no *grid* e permite visualizar os dados de uma forma diferente.

3. **Processed:** esta aba (Figura 28) tem uma similaridade muito grande com a aba “*Station*”, e organiza os dados da mesma forma, porém apresenta uma particularidade que a difere da primeira; o fato de caracterizar os dados descartados. O descarte de dados será explicado mais adiante, entretanto é necessário saber que o sistema permite que o usuário efetue o descarte de anos ou meses que possuam falhas. Isso justifica a construção de uma aba que diferencie os dados que foram descartados

dos que não foram. Caso a estação não tenha nenhum dado descartado pelo usuário, esta aba permanece desabilitada. Na parte superior existe um checkbox “*Show discarded*” que por padrão está selecionado. Quando ele está selecionado o sistema irá percorrer todos dados da grade, colorindo na cor vermelha os dados que foram descartados. Caso este *checkbox* esteja desabilitado, o sistema reescreverá a grade sem os registros que foram descartados, reduzindo assim o número de linhas deste *grid*.

Month/Year	Situation	% Fails	Day 01	Day 02	Day 03	Day 04	Day 05	Day 06	Day 07	Day 08	Day 09	Day 10
Jan/1973	Not consi...	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Feb/1973	Not consi...	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar/1973	Not consi...	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Apr/1973	Not consi...	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
May/1973	Not consi...	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jun/1973	Not consi...	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jul/1973	Not consi...	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aug/1973	Fail	58.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sep/1973	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Oct/1973	Complete	0.0	21.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Nov/1973	Complete	0.0	2.599	0.000	25.600	41.599	12.199	12.199	6.800	1.799	0.000	0.000
Dec/1973	No data	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jan/1974	No data	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Feb/1974	Complete	0.0	8.800	8.399	0.000	0.000	2.400	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mar/1974	No data	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Apr/1974	No data	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
May/1974	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	7.400	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Jun/1974	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Jul/1974	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Aug/1974	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sep/1974	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Oct/1974	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	25.100	0.000
Nov/1974	Complete	0.0	11.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.000	0.000	59.000	0.000	70.000
Dec/1974	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	11.100	12.199	4.000	14.300	25.000	0.000	0.000
Jan/1975	Complete	0.0	0.000	68.000	61.000	0.000	0.000	32.000	2.000	0.000	0.000	5.099
Feb/1975	Complete	0.0	0.000	19.200	0.000	16.000	1.000	2.200	17.200	2.000	0.000	0.000
Mar/1975	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Apr/1975	No data	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
May/1975	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Jun/1975	Complete	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Figura 28: Visão da aba Processed.

4. **Abstract:** esta aba é importante para que o usuário do sistema obtenha um resumo da estação (Figura 29). O resumo é composto por informações gerais (codigo da estação, nome da estação, latitude e longitude, período que possui dados, área de drenagem - quando é estação fluviométrica e a data de aquisição junto ao Hidroweb); por estatísticas (soma, quantidade de dados, média, desvio padrão, variância); pela média de longa duração e informações sobre o descarte efetuado (descarte anual e descarte mensal).

O resumo pode ser customizado através da alteração do período de anos considerado (ano inicial e ano final) e da consideração ou não do descarte feito. Caso o usuário desmarque o checkbox “Consider discarded”, o sistema recalculará as informações sem considerar o descarte feito a priori pelo usuário.

5. **Hydrograph:** Esta aba plota o hidrograma (vazão) ou o Ietograma (chuva) para toda a extensão da série (Figura 30). À esquerda existe a relação de estações estudadas que podem ser, uma vez marcadas, exibidas no gráfico. Com isso, o usuário pode analisar os dados de uma única estação ou efetuar a comparação conjunta pela seleção de múltiplas estações.

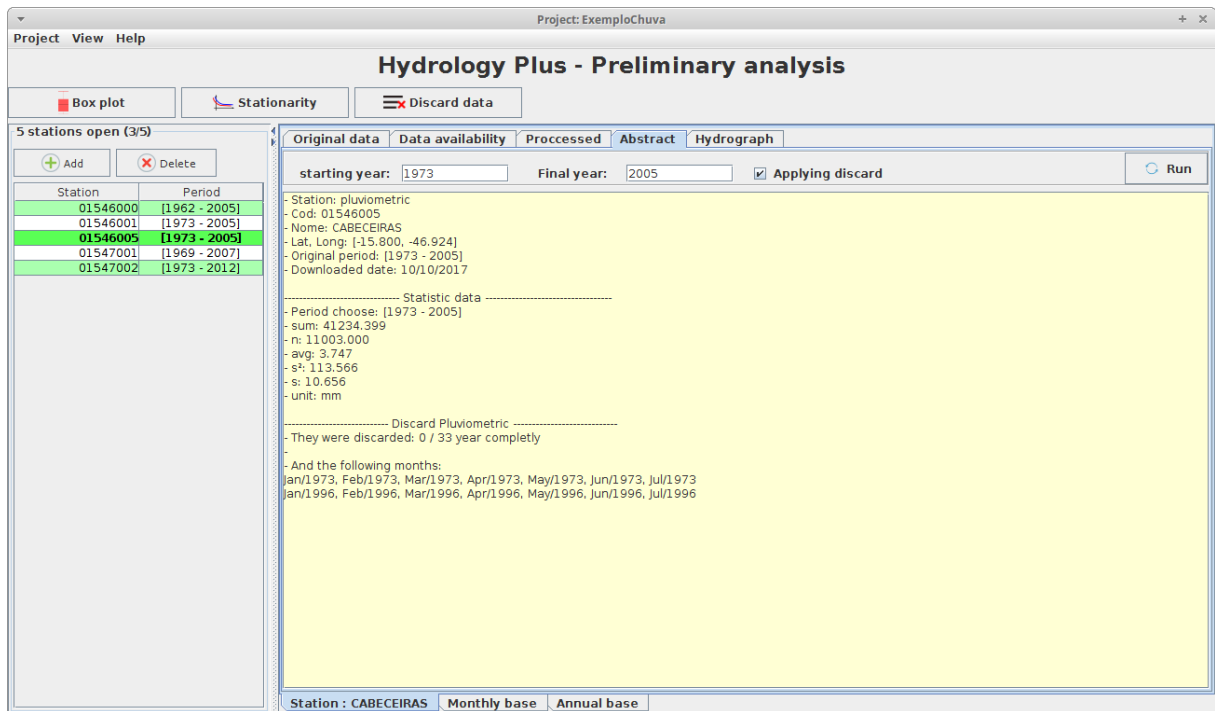


Figura 29: Abstract da estação pluviométrica 01546005.

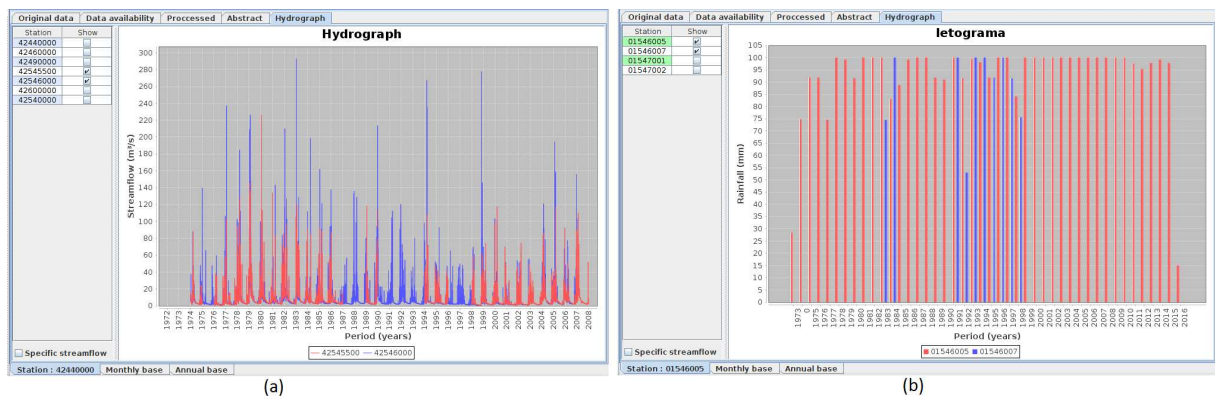


Figura 30: (a) Hidrograma das estações fluviométricas escolhidas. (b) Ietograma das estações pluviométricas escolhidas.

A opção "*Specific streamflow*" só tem utilidade quando o projeto se refere à vazões ("*Streamflow*") e tem a função de redesenhar o hidrograma a partir dos dados de vazões específicas, obtidas pela razão vazão por área de drenagem. Quando o projeto em questão é "*Rainfall*", este *checkbox* não executa nenhuma ação.

De forma geral, disponibilizando cada uma destas funcionalidades dentro de cada uma das abas, o *frame* Conteúdo, caracteriza-se como uma excelente ferramenta para visualização e compreensão dos dados dada presença da estatística descritiva dos dados e gráficos de comportamento ao longo do tempo. A possibilidade da comparação entre

estações, devido ao seu cunho multiestações, também enriquece a análise preliminar da série histórica.

### 5.2.2.4 Aba monthly base

Esta aba faz a análise dos dados em base mensal, apresentando-os desta forma nas tabelas. A Figura 31 ilustra a tabela “Year vs Months”, que disponibiliza os dados mês a mês durante os anos da série histórica, segundo seu total mensal. A última linha (“Total”) da tabela apresenta o total correspondente ao somatório de todas as linhas antecessoras, quantificando assim o total precipitado para um determinado ano (coluna). De forma análoga, a segunda coluna do *grid* (“Total (Month)”) apresenta o somatório de todas as colunas subsequentes a ela, contabilizando assim o total precipitado em um determinado mês ao longo de toda a série.

Nesta aba há o *checkbox* “Show discarded” que tem seu comportamento vinculado à coluna “Total(Month)”. Quando selecionado, significa que o programa irá atualizar todas as células (anos) de uma determinada linha e atribuir o resultado à célula da coluna “Total (month)”, independente se o ano está ou não descartado (colorido de vermelho). Caso contrário, se o *checkbox* “Show discarded” estiver desmarcado, o sistema somará apenas as células que não foram descartadas, além de marcar estas células com o símbolo “-”.

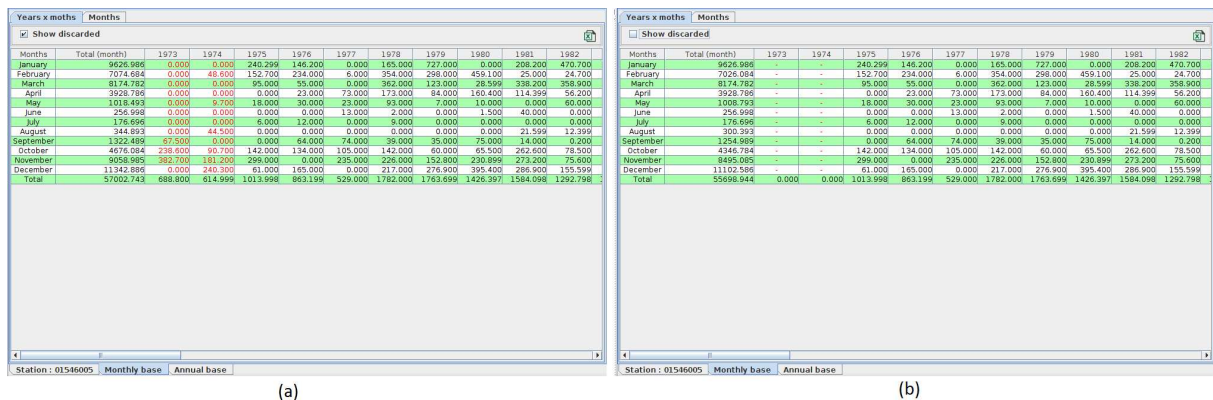


Figura 31: Dados apresentados na base mensal na forma meses por ano, (a) Checkbox selecionado (b) Checkbox não selecionado.

A aba seguinte é a “Months” (Figura 32), que tem o objetivo de promover uma outra forma de visualização dos dados mensais. Os dados são colocados sequencialmente, linha por linha, apresentando o mês/ano que representa seguido do valor total da precipitação/vazão observada. Para projetos do tipo *streamflow*, o valor da coluna “Total(month)” será sempre o somatório dos valores diários deste mês, e mesmo que o resultado não tenha muito significado físico, esta tabela pode ser útil para eventuais cálculos estatísticos após exportar para planilhas eletrônicas.

Para os projetos do tipo *rainfall*, o valor da coluna "*Total(month)*" pode ser obtido de duas abordagens diferentes: pela soma dos valor diários ou pela coluna "*Total mensal precipitado*" do arquivo Hidroweb. O arquivo referente a série histórica de precipitação, proveniente do Hidroweb, apresenta uma coluna específica com o valor total precipitado no mês. Entretanto, em alguns casos este valor não é igual ao somatório das precipitações diárias do mês. Isso ocorre, porque o processo de validação e consistência dos dados pluviométricos concentra-se nos dados mensais e não diários, evidenciando a tendência em preferir os dados mensais aos diários.

Por esta razão, o sistema adota a política priorizar apresentação dos dados mensais (advindos da coluna "*Total mensal precipitado*") na coluna "*Total(month)*" da Figura 32. No entanto, a coluna "*Total mensal precipitado*" pode estar vazia e nestes casos o *software* exhibe na coluna "*Total(month)*" da Figura 32 o somatório dos dados diários de precipitação e marca o resultado com um asterisco "\*". Este fato pode ser visualizado na linha referente à "*January/2000*" da Figura 32 cujo valor 164.499\* apresentado é referente ao somatório das precipitações diárias do mês.

Months	Total (month)
January/1999	30.300*
February/1999	73.700
March/1999	112.600
April/1999	17.000
May/1999	8.600
June/1999	0.000
July/1999	0.000
August/1999	0.000
September/1999	17.800
October/1999	73.700
November/1999	125.700
December/1999	329.800
January/2000	164.499*
February/2000	0.000*
March/2000	0.000*
April/2000	0.000*
May/2000	0.000*
June/2000	0.000
July/2000	0.800
August/2000	18.700
September/2000	18.300
October/2000	105.300
November/2000	286.600
December/2000	184.700
January/2001	76.100
February/2001	39.800
March/2001	101.500

Station : BURITIS - JUSANTE    Monthly base    Annual base

Figura 32: Dados apresentados na base mensal na forma mês a mês.

A legenda da Figura 32 destaca esta particularidade para que o usuário compreenda melhor o resultado visualizado e evite erros futuros.

O funcionamento do *checkbox* "*Show discarded*" é análogo ao apresentado na aba "*Year vs months*" e em ambas as abas há a opção de exportar a tabela para planilha eletrônica.

A particularidade deste *software* incorporar o estudo dos dados em base mensal, vai de encontro as forma de consistência de dados, em especial os dados pluviométricos,

uma vez que normalmente são feitos considerando dados em base mensal ou até mesmo em base anual.

#### 5.2.2.5 Aba annual base

Esta aba faz a análise dos dados na base anual, apresentando as análises nas tabelas ano a ano. A Figura 33 ilustra a tabela que disponibiliza os dados de cada ano com as seguintes informações:

- **Fails (%)**: percentual de falha do ano;
- **Total precipitado(mm)**: esta coluna representa o total precipitado durante todo o ano. Caso o projeto seja para estações pluviométricas a unidade será mm, e caso seja para estações fluviométricas a unidade será  $m^3/s$ . Lembrando que para dados de vazão este resultado não é significativo, sendo necessários tratamentos posteriores por meio de planilhas eletrônicas.
- **Average (no fails)**: apresenta a média correspondente ao ano, sem considerar os dias nos quais houve falha, ou seja, esta coluna será sempre maior ou igual à próxima, pelo fato de sua amostra ter o  $N$  sempre maior ou igual à próxima;
- **Average (with fails)**: apresenta a média correspondente ao ano, considerando também os dias nos quais houve falha. Com isso a amostra poderá possuir mais dados, e menor valor quantitativo que a coluna anterior.

### 5.2.3 Descartes

Um problema muito comum nas séries históricas de dados fluviométricos e pluviométricos são as falhas. A falha é caracterizada pela ausência de dados. Este é um problema crítico, visto que a ausência de dados numa série histórica compromete, ou pelo menos empobrece, os estudos e análises baseados nestes dados. Visando contornar o problema, o módulo “Discard data” foi criado. Este módulo do sistema é responsável por efetuar o descarte de dados da série histórica escolhida. A Figura 34 apresenta a interface do módulo responsável pelo tratamento dos dados.

O primeiro aspecto importante neste módulo, é que este é executado para cada estação por vez. O código da estação escolhida para sofrer o pré tratamento é apresentado no subtítulo logo abaixo ao título da tela. Ao abrir o módulo, o sistema carrega a tabela com todos os dados da série e seu percentual de falhas, organizados ano a ano ou mês a mês, respeitando o ano hidrológico, de acordo com a escolha do usuário.

Uma ferramenta bastante útil neste módulo é o descarte segundo o percentual de falhas. O usuário escolhe um percentual de falhas tolerável e então os registros são

Show discarded

Year	Fails (%)	Total Prp. (mm)	Average (no fails)	Average (with fails)
1973	71.5	688.800	6.623	1.887
1974	25.2	615.000	2.252	1.684
1975	8.21	1014.000	3.026	2.778
1976	8.19	863.200	2.569	2.358
1977	25.47	529.000	1.944	1.449
1978	0.0	1782.000	4.882	4.882
1979	0.82	1763.700	4.872	4.832
1980	8.46	1426.399	4.257	3.897
1981	0.0	1584.100	4.340	4.340
1982	0.0	1292.800	3.541	3.541
1983	0.0	1790.500	4.905	4.905
1984	16.93	603.400	1.984	1.648
1985	11.23	1069.000	3.299	2.928
1986	0.82	982.600	2.714	2.692
1987	0.0	1616.299	4.428	4.428
1988	0.0	1309.200	3.577	3.577
1989	8.21	1447.199	4.319	3.964
1990	9.04	774.299	2.332	2.121
1991	0.0	1493.399	4.091	4.091
1992	8.46	1576.700	4.706	4.307
1993	0.54	980.999	2.702	2.687
1994	1.91	1464.700	4.091	4.012
1995	8.21	1344.599	4.013	3.683
1996	0.0	927.000	2.532	2.532
1997	0.0	1518.300	4.159	4.159
1998	15.89	922.400	3.004	2.527
1999	0.0	1267.400	3.472	3.472
2000	0.0	1600.599	4.373	4.373
2001	0.0	831.099	2.276	2.276
2002	0.0	897.700	2.459	2.459
2003	0.0	1613.400	4.420	4.420
2004	0.0	2289.899	6.256	6.256

Station : 01546005    Monthly base    **Annual base**

Figura 33: Dados apresentados na base anual na forma ano a ano.

Discard data

Station:01546005

Apply   
  Cancel discards   
  Apply all stations

Start hydrological year: **January**

Base: **Annual**

Greater than: **5** % fails

Date	% Fails	Discarded
1973	71.506	<input checked="" type="checkbox"/>
1974	25.205	<input checked="" type="checkbox"/>
1975	8.219	<input checked="" type="checkbox"/>
1976	8.196	<input checked="" type="checkbox"/>
1977	25.479	<input checked="" type="checkbox"/>
1978	0.0	<input type="checkbox"/>
1979	0.821	<input type="checkbox"/>
1980	8.469	<input checked="" type="checkbox"/>
1981	0.0	<input type="checkbox"/>
1982	0.0	<input type="checkbox"/>
1983	0.0	<input type="checkbox"/>
1984	16.939	<input checked="" type="checkbox"/>
1985	11.232	<input checked="" type="checkbox"/>
1986	0.821	<input type="checkbox"/>
1987	0.0	<input type="checkbox"/>
1988	0.0	<input type="checkbox"/>
1989	8.219	<input checked="" type="checkbox"/>
1990	9.041	<input checked="" type="checkbox"/>
1991	0.0	<input type="checkbox"/>
1992	8.469	<input checked="" type="checkbox"/>
1993	0.547	<input type="checkbox"/>
1994	1.917	<input type="checkbox"/>
1995	8.219	<input checked="" type="checkbox"/>
1996	58.196	<input checked="" type="checkbox"/>

Years discarded: automatic 5%: 14, manually: 0

Close

Figura 34: Tela de descarte de dados na base anual.

descartados de acordo com a regra. Na Figura 34 a título de exemplo, foi definido que o descarte será efetuado para todos os anos que possuírem percentual de falhas superior

a 5% (podendo ser qualquer outro valor entre 0% e 100%). Portanto, todos os anos que estiverem dentro da faixa de tolerância de 5% não serão descartados. Cabe ressaltar que anos que possuírem exatamente 5% de falhas não serão descartados. Para efetuar o descarte é necessário pressionar o botão “*Apply*”.

Outra forma de descartar um ano é através da seleção manual do mesmo. O usuário poderá navegar pelo grid dos anos, marcar ou desmarcar a coluna “*Discarded*” conforme sua necessidade e assim ajustar sua série de dados. Todo o descarte efetuado implica na mudança de cor da linha para vermelho. Além disso, esses podem ser conferidos na aba “*Abstract*” da tela “*Preliminary analysis*”.

O botão “*Cancel*” tem a função de desfazer todo e qualquer descarte da estação escolhida. No exemplo apresentado, a estação possui 14 anos descartados; caso o usuário pressione o botão “*Cancel*” o sistema restaurará todos os anos descartados e ao final a estação terá zero anos descartados.

O botão “*Apply all stations*” é um facilitador, porém se utilizado de forma equivocada pode causar transtornos. Originalmente, ele foi desenvolvido para produzir séries com períodos iguais. Portanto, se o usuário, ao finalizar o descarte de dados de uma estação, desejar que as mesmas regras sejam aplicadas às demais estações, basta clicar no botão “*Apply all stations*” e o sistema se encarrega de replicar a ação.

Outras duas funcionalidades, não menos importantes, estão disponíveis dentro do *menu>Tools* que são “*Discard all*” e “*Invert discard*”. Onde a primeira executa o descarte de todos os anos (ou meses) e a segunda faz a inversão dos descartes. Ou seja, ao escolher “*Invert discard*”, se um determinado ano (ou mês) tem seu status de descarte igual a “verdadeiro” o *software* altera para “falso” e vice-versa.

Agora que as funcionalidades estão explicadas, pode-se extrapolar todas elas para a base mensal, sendo que os procedimentos disponíveis para base anual podem também ser aplicados para base mensal. Na Figura 35 nota-se o descarte sendo aplicado para os meses que possuem percentual de falhas maior que 5%.

Uma observação a ser feita é em relação à mensagem “*No year discarded*”, que é emitida na Figura 35. Ela corresponde ao fato de que, no descarte feito não existe nenhum ano que foi descartado em sua totalidade, isto é, seus doze meses descartados.

Na base mensal existe a opção de descartar um determinado mês em todos os anos. Por exemplo, se a série inicia em 1970 e finaliza em 1990 e o usuário determina o descarte de todos os meses Abril, o sistema irá descartar o mês de Abril dos anos de 1970 à 1990. Este tipo de funcionalidade gera maior agilidade, e menos equívocos, para séries maiores.

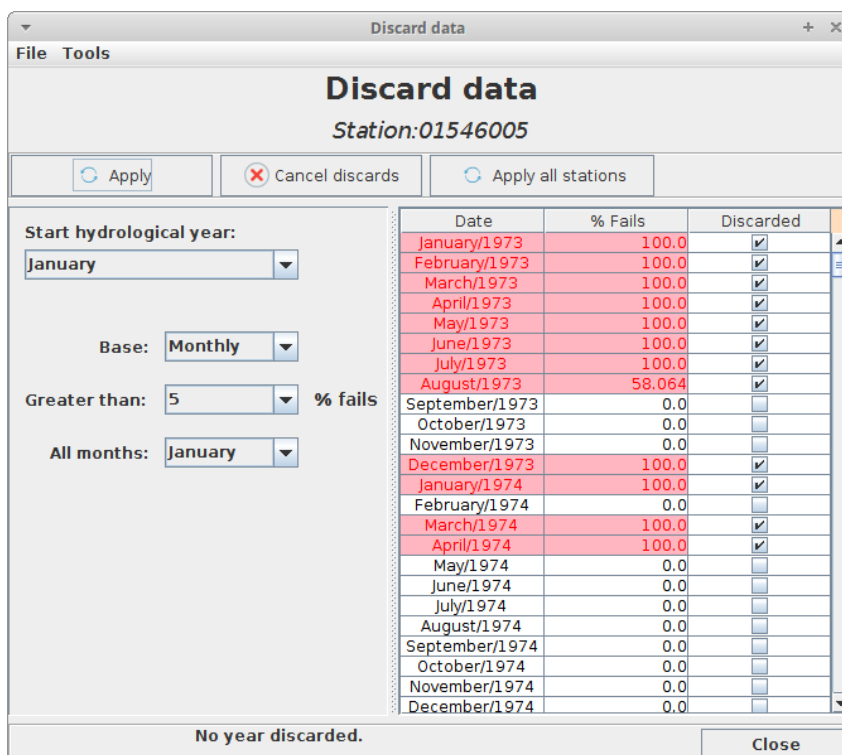


Figura 35: Tela de descarte de dados na base mensal.

### 5.2.3.1 Ano hidrológico

No módulo de Descarte de dados, também está presente a definição do conceito ano hidrológico, que altera toda a estrutura dos anos de uma série histórica. A funcionalidade é executada através da alteração do campo "*Star hydrological year*". No momento em que o valor do campo é alterado (qualquer mês do ano) o sistema apresenta ao usuário uma caixa de diálogo (Figura 36) informando que os descartes efetuados sofrerão *reset*, visto que a estrutura dos anos será modificada.

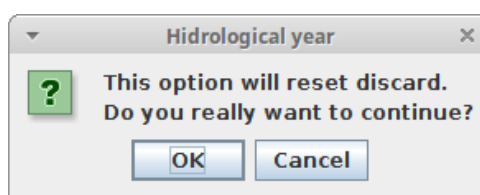


Figura 36: Diálogo para confirmação da operação. Esta mudança desfaz todo o descarte feito anteriormente.

Caso o usuário confirme a operação, os anos da série de dados deixam de ser simples e passam a ser aos pares (ano corrente/ano subsequente) e o percentual de falhas e disponibilidade é recalculado respeitando os limites do ano hidrológico (Figura 37, coluna "*%Fails*"), que agora inicia-se em Outubro e termina em Setembro.

Seguindo nesta perspectiva, o procedimento de descarte de anos (ou meses), com até 5% (por exemplo) de falhas, segue o mesmo apresentado anteriormente. A Figura 37,

ilustra este exemplo.

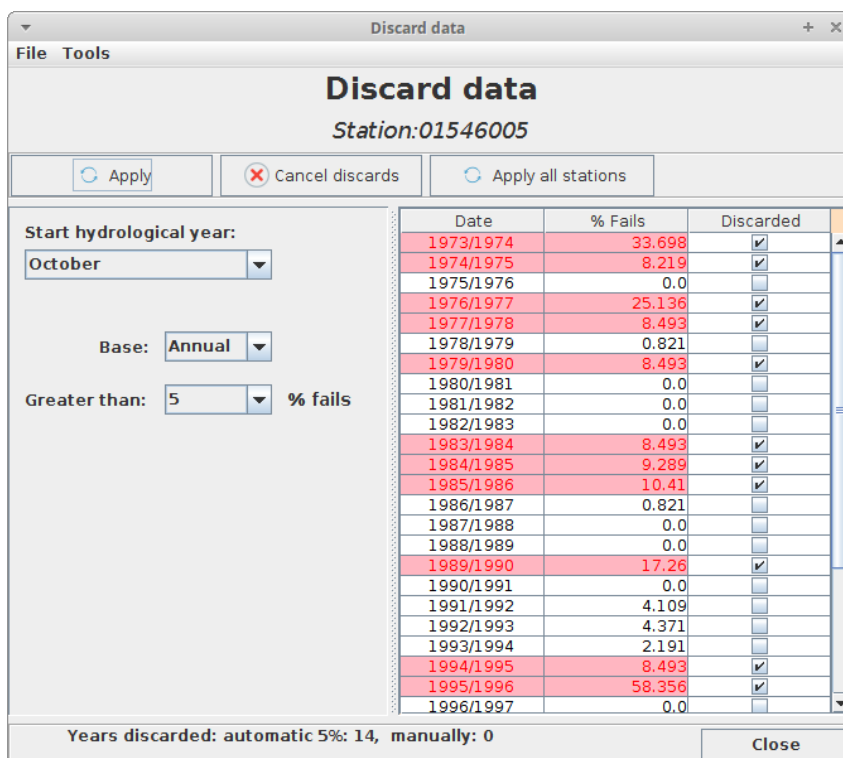


Figura 37: Efetivação da alteração do início do ano hidrológico para o mês de outubro e aplicação do descarte para 5%.

Como consequência da alteração do ano hidrológico, todas as funcionalidades do sistema passam a respeitar os novos limites. Na Figura 38, observa-se como ficará a aba "Station" depois de estabelecido como ano hidrológico o período compreendido entre Outubro e Setembro do ano seguinte.

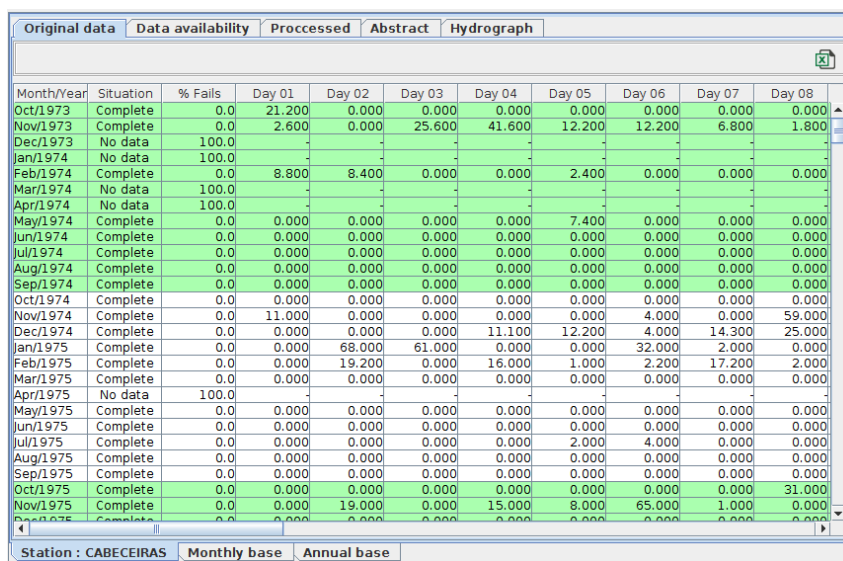


Figura 38: Estrutura da aba Station após alteração do ano hidrológico.

A partir da alteração do ano hidrológico, e da não utilização do ano civil, para o estudo das máximas, garante-se que cada ano hidrológico possuirá apenas um evento extremo (máximo). No caso da análise por ano civil, pode ocorrer que dois eventos máximos (precipitação ou vazão) ocorram no mesmo ano. Isso impactará diretamente na análise estatística no ajuste das funções de densidade e probabilidade, uma vez que neste tipo de avaliação leva-se em conta apenas o maior evento, deixando fora da análise os outros eventos "máximos".

### 5.2.4 Box plot

O acesso ao módulo *box plot* é feita pelo botão “*box plot*” da tela “*Preliminary analysis*”(Figura 20) e a Figura 39 apresenta a tela do módulo *box plot* para estações fluviométricas.

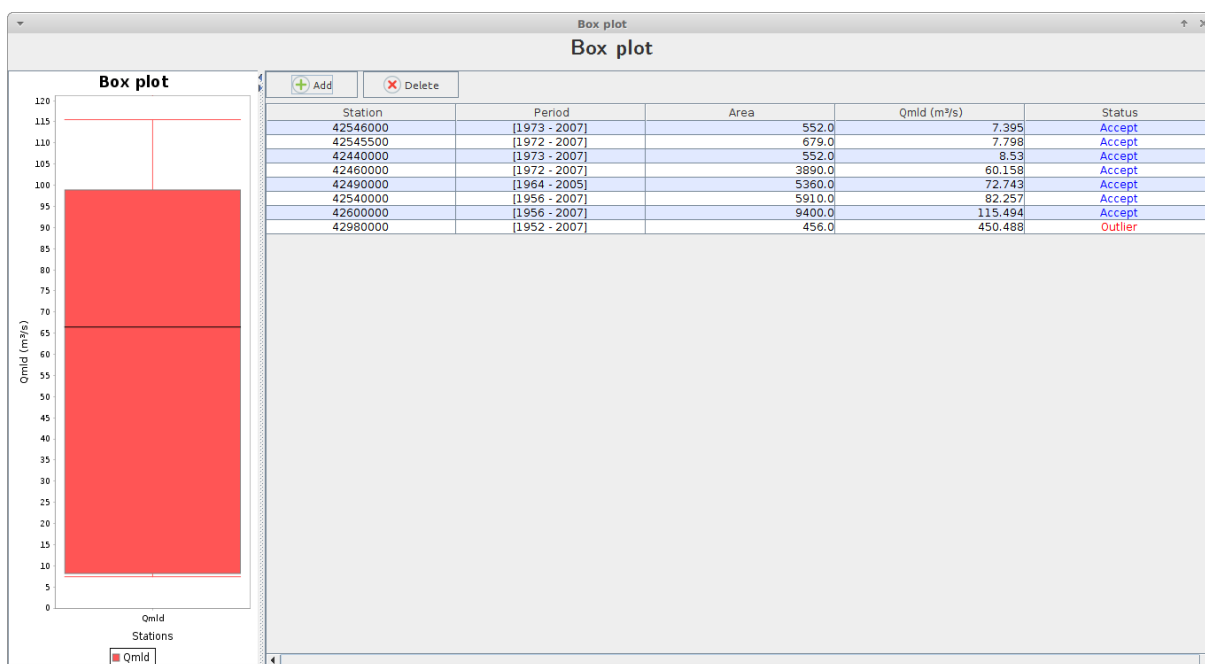


Figura 39: Módulo de análise *box plot*.

No *frame* à esquerda é possível visualizar o gráfico de caixa plotado, bem como seus principais elementos: o primeiro quartil (limite inferior da caixa vermelha), o terceiro quartil (limite superior da caixa vermelha) e a mediana (linha preta no interior da caixa vermelha). As hastes representadas pelas linhas vermelhas fora da caixa são os limites para definição de dados outliers.

No *frame* à direita é apresentada a tabela referente às estações que o usuário está analisando. As informações mais relevantes são as duas últimas colunas, “*Qmid(m³/s)*” e “*Status*”, sendo que primeira é o parâmetro utilizado para construção do gráfico e a última é a situação da estação em relação ao *box plot*. Caso um estação esteja classificada

como “outlier”, como é o caso da 42980000, significa que, de acordo com o valor de sua vazão média de longa duração, ela possui um valor muito discrepante, portanto deve levar ao usuário cogitar sua eliminação desse conjunto de estações. Em contrapartida, caso uma estação seja classificada como “Accept”, infere-se que esta estação não é discrepante em relação às demais quando analisado a “ $Q_{mld}(m^3/s)$ ”, portanto ela não deve ser eliminada com base nesta análise.

Para efetuar a eliminação (outliers) ou adição de novas estações neste estudo o usuário deve utilizar os botões “Delete” e “Add”, respectivamente. Cabe ressaltar, ao adicionar e excluir uma determinada estação os sistema recalcula a vazão média de longa de duração(para a estação inserida) e reconstrói o gráfico *box plot* além de efetuar a reclassificação das estações.

A presença desta análise dentro do próprio *Hydrology Plus*, otimiza o processo de análise como vem sendo feito atualmente, em que os técnicos e engenheiros tem que calcular os valores médios de longo termo para cada uma das estações, exportar estes resultados para uma planilha eletrônica e então efetuar a análise *box plot*.

### 5.2.5 Estacionariedade

Uma série histórica é considerada estacionária quando ela se desenvolve no tempo de forma aleatória, ao redor de uma média constante, refletindo, assim, alguma forma de equilíbrio estável. Dentro desta perspectiva, o módulo de estudo da estacionariedade dá suporte à hipótese de que a média e a variância não sofrem alterações consideráveis ao longo do período de tempo considerado.

Para acessar este módulo, o usuário deverá clicar no botão “Stationarity” da tela “Preliminary analysis” (Figura 20) e a Figura 40 será apresentada ao usuário.

Year	Streamflow (m³/s)	Period	HO (mean)	HO (var)	Mean A	Mean B	Var A	Var B
20/09/1973	1.388	A: [1973 - 1977], B: [1978 - 2007]	Reject	Reject	1.374	2.036	0.158	0.811
27/11/1974	2.059	A: [1973 - 1978], B: [1979 - 2007]	Reject	Reject	1.482	2.036	0.196	0.84
28/09/1975	1.152	A: [1973 - 1979], B: [1980 - 2007]	Reject	Reject	1.734	1.993	0.609	0.815
03/09/1976	1.152	A: [1973 - 1980], B: [1981 - 2007]	Reject	Reject	1.828	1.975	0.592	0.837
16/05/1977	1.12	A: [1973 - 1981], B: [1982 - 2007]	Reject	Reject	1.915	1.95	0.586	0.853
03/10/1978	2.021	A: [1973 - 1982], B: [1983 - 2007]	Reject	Reject	2.044	1.9	0.689	0.82
02/10/1979	3.248	A: [1973 - 1983], B: [1984 - 2007]	Reject	Reject	2.25	1.8	1.086	0.953
27/10/1980	2.483	A: [1973 - 1984], B: [1985 - 2007]	Reject	Reject	2.268	1.771	0.991	0.6
24/09/1981	2.615	A: [1973 - 1985], B: [1986 - 2007]	Reject	Reject	2.302	1.728	0.923	0.584
25/11/1982	3.21	A: [1973 - 1986], B: [1987 - 2007]	Reject	Reject	2.246	1.737	0.893	0.611
26/08/1983	4.308	A: [1973 - 1984], B: [1985 - 2007]	Reject	Reject	2.268	1.771	0.991	0.6
03/11/1984	2.464	A: [1973 - 1985], B: [1986 - 2007]	Reject	Reject	2.302	1.728	0.923	0.584
14/10/1985	2.713	A: [1973 - 1986], B: [1987 - 2007]	Reject	Reject	2.246	1.737	0.893	0.611
04/11/1986	1.544	A: [1973 - 1987], B: [1988 - 2007]	Reject	Reject	2.168	1.771	0.924	0.618
13/10/1987	1.055	A: [1973 - 1988], B: [1989 - 2007]	Reject	Reject	2.216	1.71	0.898	0.575
30/06/1988	2.923	A: [1973 - 1989], B: [1990 - 2007]	Reject	Reject	2.157	1.738	0.9	0.594
22/09/1989	1.22	A: [1973 - 1990], B: [1991 - 2007]	Reject	Reject	2.133	1.758	0.858	0.631
01/12/1990	1.725	A: [1973 - 1991], B: [1992 - 2007]	Reject	Reject	2.133	1.714	0.81	0.662
25/10/1991	2.131	A: [1973 - 1992], B: [1993 - 2007]	Reject	Reject	2.228	1.559	0.95	0.296
26/09/1992	4.043	A: [1973 - 1993], B: [1994 - 2007]	Reject	Reject	2.22	1.569	0.903	0.278
08/10/1993	2.26	A: [1973 - 1994], B: [1995 - 2007]	Reject	Reject	2.204	1.456	0.874	0.299
30/09/1994	1.666	A: [1973 - 1995], B: [1996 - 2007]	Reject	Reject	2.18	1.484	0.848	0.324
02/10/1995	1.648	A: [1973 - 1996], B: [1997 - 2007]	Reject	Reject	2.135	1.518	0.859	0.341
22/09/1996	1.105	A: [1973 - 1997], B: [1998 - 2007]	Reject	Reject	2.107	1.526	0.842	0.378
30/10/1997	1.444	A: [1973 - 1998], B: [1999 - 2007]	Reject	Reject	2.068	1.575	0.849	0.399
12/09/1998	1.089	A: [1973 - 1999], B: [2000 - 2007]	Reject	Reject	2.018	1.682	0.883	0.338
13/10/1999	0.719	A: [1973 - 2000], B: [2001 - 2007]	Reject	Reject	2.006	1.683	0.835	0.394
23/10/2000	1.659	A: [1973 - 2001], B: [2002 - 2007]	Reject	Reject	1.974	1.785	0.855	0.386
19/08/2001	1.072	A: [1973 - 2002], B: [2003 - 2007]	Reject	Reject	1.932	1.998	0.877	0.142
23/10/2002	0.721							
28/09/2003	1.651							
08/11/2004	2.294							
22/10/2005	1.918							
30/09/2006	2.49							
20/09/2007	1.651							

Figura 40: Módulo análise da estacionariedade para uma determinada estação.

Ao iniciar o módulo, o sistema executa a análise de estacionariedade para o parâmetro "mínimas anuais". Os valores de mínimas anuais, bem como a data de sua ocorrência são apresentados na *grid* da esquerda. Esta *grid* é responsável por apresentar os valores de mínimas, médias e máximas, de acordo com a escolha do usuário.

No frame à direita existem duas abas, "Automatic" e "Custom", e em ambas são feitas as análises do comportamento estacionário ou não dos dados. Para evitar séries de pequena extensão, foi estabelecido um período mínimo de cinco anos para o cálculo da estacionariedade. Outro fator restritivo é a não ocorrência de sobreposição das séries, não sendo permitido que as séries possuam um ano em comum.

Desta forma, na aba "Automatic" o sistema cria de forma automática, diversas combinações de séries de dados levando em consideração a restrição da série possuir no mínimo cinco anos. Uma vez construídas estas séries, o *software* efetua a análise de estacionariedade para cada uma delas, de acordo com o percentual de tolerância que o usuário informou no campo "Percent (0 a 100)".

A partir deste valor o sistema calcula a média e variância dos dados de cada amostra e efetua a comparação entre elas. A comparação é feita verificando se a diferença entre as médias das amostras são menores ou iguais ao limite tolerável. Caso esta diferença não supere o limite, pode-se afirmar que as duas amostras apresentam uma semelhança de comportamento (estacionário) no tempo e a coluna " $H_0$  (mean)" recebe o status "Accept", caso contrário recebe o status "Reject". O mesmo processo é feito considerando a variância. E caso a diferença atenda à tolerância, a coluna " $H_0$  (var)" recebe o status "Accept", caso contrário recebe o status "Reject".

A aba "Custom" segue a mesma funcionalidade da aba "Automatic", porém não existe a construção automática das séries. As séries são construídas de acordo com o interesse do usuário, sendo obrigatória a observância do número mínimo de anos e a não sobreposição das datas das amostras. Esta funcionalidade será utilizada efetivamente para estudos que almejam detectar alterações no regime hidrológico em que se conhece claramente o período que, hipoteticamente, houve a mudança no regime, como por exemplo o ano de construção de um reservatório hídrico. A Figura 41 ilustra este processo:

Caso o usuário tenha interesse em efetuar a análise com os dados de médias anuais ou máximas anuais, basta selecionar "Maxim" ou "Mean" acima da tabela da esquerda e clicar no botão "Run". Para efetuar a mudança do percentual tolerável (nível de significância do teste), o usuário deve alterar o campo "Percent (0 a 100)" e novamente clicar no botão "Run" que o processo será refeito e a tela será atualizada.

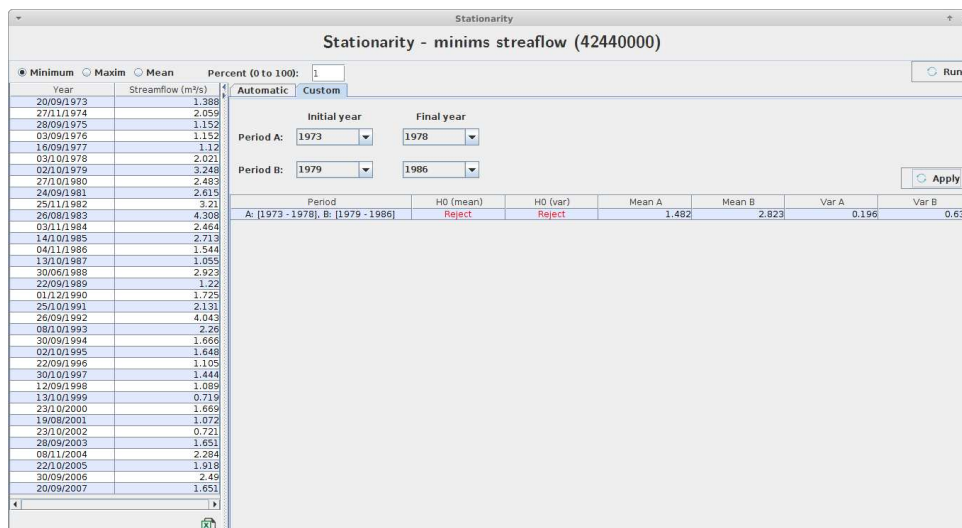


Figura 41: Módulo análise da estacionariedade com escolha customizada dos períodos.

### 5.2.6 View

Este módulo tem por finalidade propiciar formas diferenciadas de visualizar e analisar os dados da série histórica escolhida. Para acessar este módulo o usuário deve utilizar “View - Data view” no menu principal da tela do “Preliminary Analysis” (Figura 20).

A Figura 42 ilustra a tela do módulo de visualização que está subdivida em cinco abas, de acordo com a forma de análise dos dados. É importante mencionar que este módulo, além de auxiliar a análise de uma estação, tem por objetivo exportar para uma planilha eletrônica as diferentes tabelas apresentadas. Além disso todas as abas apresentam resultados de uma única estação (cujo nome está registrado no título da tela) exceto a aba “Availability/Falis” que faz um estudo conjunto de todas estações.

A primeira aba refere-se à disposição padrão dos dados, igualmente apresentada na tela inicial do “Preliminary Analysis”. Também existe o checkbox “Show discarded” com mesmo funcionamento de omitir ou mostrar os dados que foram descartados.

A aba seguinte, se refere à uma visão detalhada (Detailed view) da série histórica de uma estação (Figura 43). Nesta aba o usuário define qual ano e mês ele deseja analisar através de seleção feita no combobox “Year” e “Month”, respectivamente. Uma vez determinados ano e mês, o sistema buscará na base de dados os registros diários deste mês/ano, e apresentará na tabela à esquerda, além de confeccionar um resumo estatísticos que estará disponível à direita da tabela.

Na tabela, estão postas três colunas, sendo o dia do mês, a vazão (ou precipitação) registrada neste dia, e a vazão específica. A vazão específica é advinda da razão entre a vazão registrada ( $m^3/s$ ) no dia pela área de contribuição da estação, assim a unidade será expressa por  $m^3/s/km^2$ . Caso a estação estudada seja pluviométrica, a coluna de vazão específica deixa de existir, uma vez que o software não exige área de contribuição

Month/Year	Situation	% Fails	Day 01	Day 02	Day 03	Day 04	Day 05	Day 06	Day 07	Day 08	Day 09	Day 10
Sep/1973	Fail	63.333	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oct/1973	Complete	0.0	2.785	2.652	2.004	1.630	1.508	1.630	1.630	1.630	2.004	2.260
Nov/1973	Complete	0.0	3.464	6.375	4.165	9.683	40.421	43.082	10.830	6.528	6.073	4.451
Dec/1973	Complete	0.0	3.603	3.882	4.165	5.772	5.178	6.528	6.988	5.772	8.398	6.681
Jan/1974	Complete	0.0	7.766	11.997	12.166	29.292	11.997	16.306	12.842	16.306	12.842	9.521
Feb/1974	Complete	0.0	6.073	16.130	9.359	4.595	4.885	4.885	5.178	4.885	4.740	4.595
Mar/1974	Complete	0.0	4.595	6.375	6.375	4.885	4.595	4.595	4.451	13.696	10.996	11.997
Apr/1974	Complete	0.0	15.253	16.483	12.842	11.829	11.162	11.162	10.336	10.665	9.359	8.876
May/1974	Complete	0.0	4.885	5.474	6.224	6.375	6.375	6.375	6.224	6.375	6.375	6.224
Jun/1974	Complete	0.0	4.885	4.885	4.885	4.885	4.885	4.885	4.885	4.885	4.885	4.885
Jul/1974	Complete	0.0	4.165	4.165	4.165	4.165	4.165	4.165	4.165	4.165	4.165	4.165
Aug/1974	Complete	0.0	3.464	3.464	3.464	3.464	3.464	3.464	3.464	3.464	3.464	3.464
Sep/1974	Complete	0.0	2.785	2.785	2.652	2.652	2.652	2.652	2.652	2.652	2.652	2.652
Oct/1974	Complete	0.0	2.260	2.260	2.260	2.260	2.260	2.919	2.919	2.919	7.453	9.683
Nov/1974	Complete	0.0	22.094	5.474	3.603	3.054	2.919	2.785	3.190	2.919	2.919	2.785
Dec/1974	Complete	0.0	2.004	2.004	1.878	2.132	3.464	5.474	17.548	4.308	3.327	2.785
Jan/1975	Complete	0.0	2.919	8.557	16.306	10.336	5.474	10.172	5.772	5.031	6.073	17.192
Feb/1975	Complete	0.0	6.073	11.162	6.681	6.834	9.846	42.260	88.193	29.292	12.672	12.842
Mar/1975	Complete	0.0	4.885	4.885	4.885	4.595	4.308	4.308	4.308	4.308	4.308	4.308
Apr/1975	Complete	0.0	17.192	4.595	6.224	6.988	4.595	4.023	3.742	3.603	4.023	4.308
May/1975	Complete	0.0	4.023	4.023	4.023	4.023	4.023	4.308	4.308	4.308	4.023	3.742
Jun/1975	Complete	0.0	3.190	3.190	3.190	3.190	3.190	3.054	2.919	2.919	2.919	2.919
Jul/1975	Complete	0.0	2.652	2.652	2.652	2.652	3.327	2.652	2.520	2.390	2.390	2.390
Aug/1975	Complete	0.0	2.004	2.004	2.004	2.004	2.004	2.004	1.878	1.878	1.878	1.878
Sep/1975	Complete	0.0	1.508	1.508	1.508	1.508	1.508	1.508	1.508	1.508	1.508	1.508
Oct/1975	Complete	0.0	1.153	1.153	1.153	1.153	1.153	1.153	1.153	1.388	1.630	1.388
Nov/1975	Complete	0.0	73.422	59.127	5.623	15.428	3.882	21.725	12.842	26.794	5.922	7.923
Dec/1975	Complete	0.0	10.685	5.031	6.073	4.885	7.923	8.557	6.681	5.474	4.885	3.464
Jan/1976	Complete	0.0	3.882	7.453	8.081	4.740	4.308	4.308	5.772	6.224	4.595	4.308
Feb/1976	Complete	0.0	7.298	4.595	3.464	4.165	3.464	3.464	6.528	9.198	5.326	11.997
Mar/1976	Complete	0.0	8.398	5.326	6.375	5.623	5.474	4.740	4.595	4.595	4.595	4.595

Figura 42: Módulo View, aba Standard view.

Day	Q (m³/s)	q (m³/s/km²)
1	7.923	0.0143
2	5.031	0.0091
3	2.919	0.0052
4	3.464	0.0062
5	3.327	0.0060
6	3.190	0.0057
7	3.054	0.0055
8	3.190	0.0057
9	3.054	0.0055
10	3.054	0.0055
11	2.919	0.0052
12	2.785	0.0050
13	2.785	0.0050
14	2.785	0.0050
15	2.785	0.0050
16	2.652	0.0048
17	2.652	0.0048
18	2.652	0.0048
19	2.652	0.0048
20	2.652	0.0048
21	2.520	0.0045
22	2.520	0.0045
23	2.520	0.0045
24	2.520	0.0045
25	2.390	0.0043
26	2.390	0.0043
27	2.390	0.0043
28	2.390	0.0043
29	2.390	0.0043
30	3.054	0.0055
31	2.919	0.0052

**Abstract**

- Station: fluviometric
- Cod: 42440000
- Nome: FAZENDA POÇÕES
- Lat. Long: [-17.041, -46.818]
- Original period: [1973 - 2007]
- Drainage area: 552.000 km²

**Month: May**

- Sum: 93.546
- n: 31.000
- Average: 3.017
- s: 1.038
- s²: 1.078
- Percent fails: 0.0%
- Availability: 100.0%
- Discarded: false
- Minimum: 2.390, Day minimum: 25/05/1976
- Maxim: 7.923, Day maximum: 01/05/1976

**Year: 1976**

- Sum: 1852.881
- n: 366.000
- Average: 5.062
- s: 6.441
- s²: 41.493
- Percent fails: 0.0%
- Availability: 100.0%
- Discarded: false
- Minimum: 1.153, Day minimum: 16/08/1976
- Maxim: 61.513, Day maximum: 28/12/1976

Figura 43: Módulo View, aba Detailed view.

quando o projeto é de dados de chuva. Entretanto, a coluna não será removida, mas sim preenchida pelo símbolo “-” em todas as suas lacunas.

O resumo é composto por três partes, os dados gerais da estação escolhida como: período original, área de drenagem, somatório das vazões, total de registros lidos, e a vazão média de longa duração; a estatística do mês com a soma, o total, a média, as falhas, a disponibilidade, se houve descarte ou não e o valor da mínima/máxima juntamente com a

data da ocorrência; e a estatística do ano com os mesmos parâmetros do resumo do mês, porém com a análise em todo o ano.

A próxima aba (Figura 44) é a “Availability/Falis” que dispõe de duas tabelas para informar ao usuário o comportamento dos percentuais de disponibilidade e falha das estações. A tabela desta tela trata os anos quanto às sua disponibilidade, isto é, analisa os dados diários de um determinado ano, calcula o percentual de dados disponível e preenche a célula do ano em questão com este percentual. Tanto nesta tabela quanto na inferior, cada linha diz respeito a uma estação, conferindo a possibilidade de comparação entre elas. Cabe ressaltar que as quatro últimas linhas da tabela superior são contadores, servindo para contabilizar quantas estações foram classificadas em cada faixa.

Data view (FAZENDA POÇÕES)												
Availability												
Station	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948
56005000	63.01	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
56010000	0.00	0.00	75.34	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
56012000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.27	91.78	100.00	94.52	91.53
56028000	0.00	58.63	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
56040000	0.00	0.00	0.00	75.13	100.00	100.00	93.89	73.49	86.57	100.00	41.91	49.18
56050000	0.00	39.17	100.00	100.00	100.00	99.17	99.72	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
56055000	0.00	40.82	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
56065000	0.00	0.00	0.00	0.00	53.15	95.89	93.87	97.54	98.98	100.00	100.00	100.00
56075000	0.00	58.63	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
42440000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10.00	9.00	5.00	4.00	3.00	2.00	2.00	3.00	1.00	1.00	2.00	2.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	1.00	0.00	1.00	1.00

Fails												
Station	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948
56005000	36.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
56010000	100.00	100.00	24.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
56012000	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	49.72	8.21	0.00	5.48	8.46
56028000	100.00	41.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
56040000	100.00	100.00	100.00	24.86	0.00	0.00	6.30	26.50	13.42	0.00	58.08	50.82
56050000	100.00	60.82	0.00	0.00	0.00	0.82	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
56055000	100.00	59.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
56065000	100.00	100.00	100.00	100.00	46.85	4.10	7.12	2.45	3.01	0.00	0.00	0.00
56075000	100.00	41.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
42440000	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Figura 44: Classificação dos anos das estações de acordo com os percentuais de disponibilidade e falha.

O sistema trabalhará de forma semelhante para construir a tabela inferior (*Fails*). Esta tabela é complementar à tabela superior e os resultados são pintados com diferentes cores segunda sua classificação. Com isso, caso o usuário queira fazer sua análise de acordo com as falhas, basta fazer uso da tabela inferior, e caso contrário fazer uso da tabela superior. Em ambas as tabelas existe a opção de exportar para planilha eletrônica.

Uma outra forma de expressar a série histórica de uma estação é a contida na aba “Days x Years” (Figura 45), que estabelece em cada coluna a tupla mês/ano, e em cada linha os dias do mês. Esta organização permite ao usuário visualizar o ano de forma horizontal, conferindo maior versatilidade ao estudo desejado. Nesta aba o sistema pinta o *background* das colunas com azul ou branco a cada novo ano iniciado, conferindo um efeito zebreado ano a ano. Quando uma coluna, que se refere à uma mês/ano, possui um ou mais dias com falhas o sistema preenche a referida célula com o símbolo “-”. Esta tabela

assim como as apresentadas anteriormente, possui a opção de exportar para o planilha eletrônica.

Dia	July/1974	August/1974	September/1974	October/1974	November/1974	December/1974	January/1975	Februar
1	4.16	3.46	2.78	2.26	22.09	2.00	2.91	6.07
2	4.16	3.46	2.78	2.26	5.47	2.00	8.55	11.16
3	4.16	3.46	2.65	2.26	3.60	1.87	16.30	6.68
4	4.16	3.46	2.65	2.26	3.05	2.13	10.33	6.83
5	4.16	3.46	2.65	2.26	2.91	3.46	5.47	9.84
6	4.16	3.46	2.65	2.91	2.78	5.47	10.17	42.26
7	4.16	3.46	2.65	2.91	3.19	17.54	5.77	88.19
8	4.16	3.46	2.65	2.91	2.91	4.30	5.03	29.29
9	4.16	3.46	2.65	7.45	2.91	3.32	6.07	12.67
10	4.16	3.46	2.65	9.68	2.78	2.78	17.19	12.84
11	4.16	3.46	2.65	5.47	2.65	2.65	5.62	13.69
12	4.16	3.46	2.65	4.16	2.39	2.52	5.77	8.55
13	4.16	3.32	2.65	2.39	2.39	2.52	5.17	7.61
14	4.16	3.32	2.65	2.78	2.39	2.39	4.30	8.55
15	4.16	3.32	2.65	3.05	2.39	4.02	4.16	6.68
16	4.16	3.46	2.52	2.65	2.13	3.46	3.88	6.52
17	4.16	3.32	2.52	2.52	2.13	2.91	3.74	7.76
18	4.16	3.19	2.52	2.39	2.26	2.65	3.74	7.45
19	4.16	3.19	2.39	6.22	2.39	5.47	3.46	7.92
20	4.16	3.19	2.39	9.52	2.39	6.22	4.45	10.50
21	4.02	3.19	2.52	4.88	2.13	4.74	7.92	12.84
22	4.02	3.19	2.52	7.14	2.13	2.91	7.92	8.23
23	3.88	3.19	2.52	11.82	2.39	2.65	5.47	6.83
24	3.74	3.05	2.52	5.32	2.52	2.65	7.45	6.37
25	3.60	2.91	2.52	3.46	3.05	2.39	4.74	8.55
26	3.46	2.91	2.52	4.59	2.13	2.39	4.88	6.98
27	3.46	2.91	2.39	3.74	2.13	5.92	4.88	6.98
28	3.46	2.91	2.39	4.74	2.13	5.62	4.88	7.14
29	3.46	2.91	2.39	5.47	2.13	3.32	4.74	
30	3.46	2.78	2.39	4.45	2.13	2.91	4.02	
31	3.46	2.78		3.19		2.65	4.02	

Figura 45: Visualização na forma de dias por mês/ano.

A última aba do módulo “Data view” é a aba “dd/mm/aaaa” ilustrada pela Figura 46. Esta abordagem é bastante interessante por dispor os dados de uma estação de forma linear. A disposição linear propicia a execução de diversos cálculos, como por exemplo o somatório e a média, além de permitir que o usuário exporte para uma planilha eletrônica e use os dados de acordo com sua necessidade.

O sistema subdivide com as cores azul e branco a cada novo mês, conferindo um efeito zebreado mês a mês. Pode-se perceber também que existem algumas linhas cujas fontes estão pintadas de vermelho e valor relacionado definido como “-”, isso se deve ao fato de serem dados descartados pelo usuário, ou devido a não existência de dados (falha). É importante lembrar que estes registros descartados estão sendo exibidos devido ao *checkbox* “Show discarded” estar marcado, caso contrário os dados descartados não seriam exibidos.

### 5.3 Análise pluviométrica

O *software Rainfall* tem por finalidade oferecer ferramentas que possibilitem ao usuário efetuar análises meteorológicas a partir de séries históricas de precipitações. Conforme fluxograma apresentado na Figura 6, os módulos referentes a este sistema são: precipitações médias, precipitações máximas, preenchimento de falhas e série sintética

Day/Month/Year	Streamflow
16/Sep/1973	-
17/Sep/1973	-
18/Sep/1973	-
19/Sep/1973	-
20/Sep/1973	1.388
21/Sep/1973	1.388
22/Sep/1973	1.388
23/Sep/1973	1.388
24/Sep/1973	1.388
25/Sep/1973	1.388
26/Sep/1973	1.388
27/Sep/1973	1.388
28/Sep/1973	3.054
29/Sep/1973	4.740
30/Sep/1973	4.595
01/Oct/1973	2.785
02/Oct/1973	2.652
03/Oct/1973	2.004
04/Oct/1973	1.630
05/Oct/1973	1.508
06/Oct/1973	1.630
07/Oct/1973	1.630
08/Oct/1973	1.630
09/Oct/1973	2.004
10/Oct/1973	2.260
11/Oct/1973	1.754
12/Oct/1973	1.630
13/Oct/1973	5.623
14/Oct/1973	3.327
15/Oct/1973	6.073
16/Oct/1973	5.178

Figura 46: Visualização linear da estação, no formato dd/mês/aaaa.

de precipitação. O sistema *Preliminary Analysis* (Seção 5.2), está integrado ao sistema *Rainfall*, oferecendo todas as suas funcionalidades.

A Figura 47 ilustra a tela principal do sistema *Rainfall* com o projeto de nome *ExemploChuva*. Este projeto foi criado apenas para exemplificar as funcionalidades do sistema.

No menu principal são oferecidas ao usuário quatro opções, *Project*, *View*, *Preliminary Analysis* e *Tools*. O primeiro oferece as opções referentes ao gerenciamento de projetos: *Project management*, *Close project*, *Save*, *Save as* e *Exit*. O funcionamento de cada um destes item segue o mesmo comportamento que o apresentado na Seção 5.2.1 do *software Preliminary Analysis*. Cabe ressaltar que, neste *software* somente será aceito projetos advindos de estação pluviométricas, que é o foco deste sistema. O segundo é o menu do módulo *View* (Seção 5.2.6) que apresenta ao usuário a série histórica da estação escolhida de diferentes maneiras. A terceira opção do menu é a integração com *software Preliminary Analysis*, através de suas três funcionalidades mais relevantes: *Discard data*, *Stationarity* e *box plot*, que funcionará para as estações pluviométricas. Por fim, a última opção do menu principal é o *Tools*, que disponibiliza ao usuário as ferramentas necessárias para que o *software Rainfall* atinja seu objetivo.

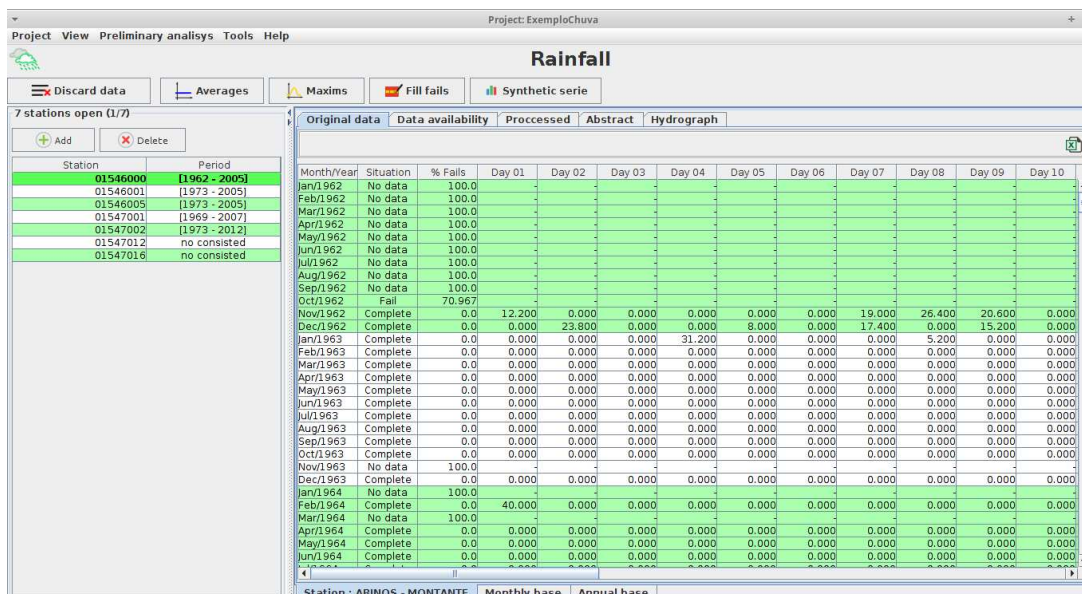


Figura 47: Tela principal do módulo Rainfall.

Na barra de botões, estão dispostos os quatro botões (*Averages*, *Maxmis*, *Fill fails* e *Syhtthetic serie*) da caixa de ferramentas do sistema *Rainfall* e o botão *Discard data* referente ao sistema *Preliminary Analysis*. Ao clicar nestes botões o referido módulo é executado. Estes módulos serão descritos a seguir.

Através da tela inicial do sistema *Rainfall* (Figura 47), destaca-se a presença da Base de Dados de Trabalho (BDT) com as estações pluviométricas abertas no *frame* à esquerda e o *frame Conteúdo* à direita. O comportamento desta estrutura está descrita na Seção 5.2.2, e aqui seguirá o mesmo funcionamento.

### 5.3.1 Precipitação Máxima

O módulo *Maxims* é acionado através da seleção de uma estação pluviométrica seguido do clique no botão "*Maxims*" na tela principal do módulo *Rainfall* (Figura 47). O fluxograma que descreve o seu funcionamento está demonstrado na Figura 48.

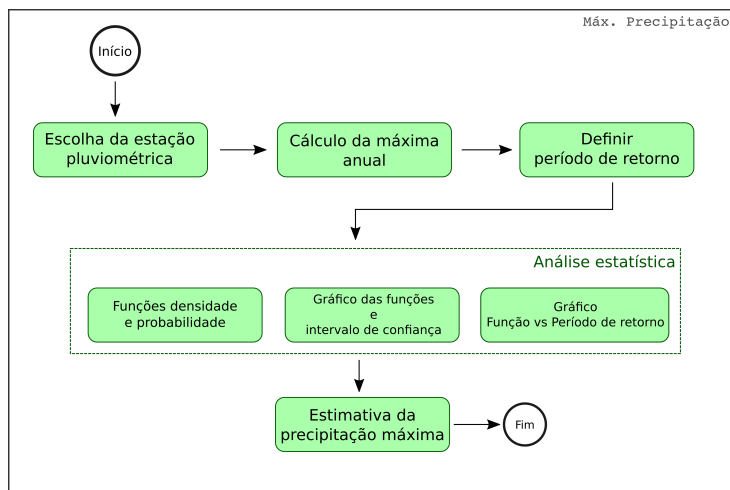


Figura 48: Fluxograma do módulo Precipitação Máxima.

Logo no título da tela observa-se o código da estação pluviométrica escolhida. Deve-se atentar para este fato para não correr o risco de analisar a série histórica indesejada.

Year	Date	Maxim ppt (mm)	Valid days
1978	07/03/1978	84.000	365
1981	04/12/1981	75.000	365
1982	29/03/1982	125.000	365
1983	25/10/1983	100.000	365
1987	11/11/1987	92.200	365
1988	04/11/1988	60.000	366
1991	11/12/1991	84.100	365
1996	24/12/1996	97.000	366
1997	31/03/1997	80.000	365
1999	25/12/1999	125.300	365
2000	02/03/2000	107.400	366
2001	29/03/2001	67.700	365
2002	07/11/2002	70.900	365
2003	16/01/2003	75.300	365
2004	27/04/2004	94.300	366
2005	26/11/2005	90.500	365
2006	09/11/2006	84.500	365
2007	28/02/2007	68.800	365
2008	06/04/2008	90.300	366
2009	31/10/2009	87.400	365
2010	29/12/2010	78.500	365

Figura 49: Tela do módulo Precipitações Máximas, aba *Annual maximums*.

A estrutura do módulo *Maxims* é subdividida em duas guias: *Annual maximums* e *Statistical analysis*(Figura 49). A primeira apresenta a tabela com as precipitações máximas observadas e a segunda a análise estatística por meio de tabelas e gráficos.

A aba *Annual maximums* exibe a tabela com o resultado da precipitação máxima observada para cada ano da série histórica. A coluna *Year* apresenta a informação do ano da série. A coluna *Date* exibe a data exata em que foi registrada a precipitação máxima do ano. Neste processo de estimativa da precipitação máxima, não há o cálculo de médias móveis como no cálculo das vazões mínimas (Seção 5.4.1). Por fim, estão disponíveis as colunas *Maxims ppt* e *Valid days*), que exibem o valor da precipitação máxima e quantos dias no ano não possuem falhas, respectivamente.

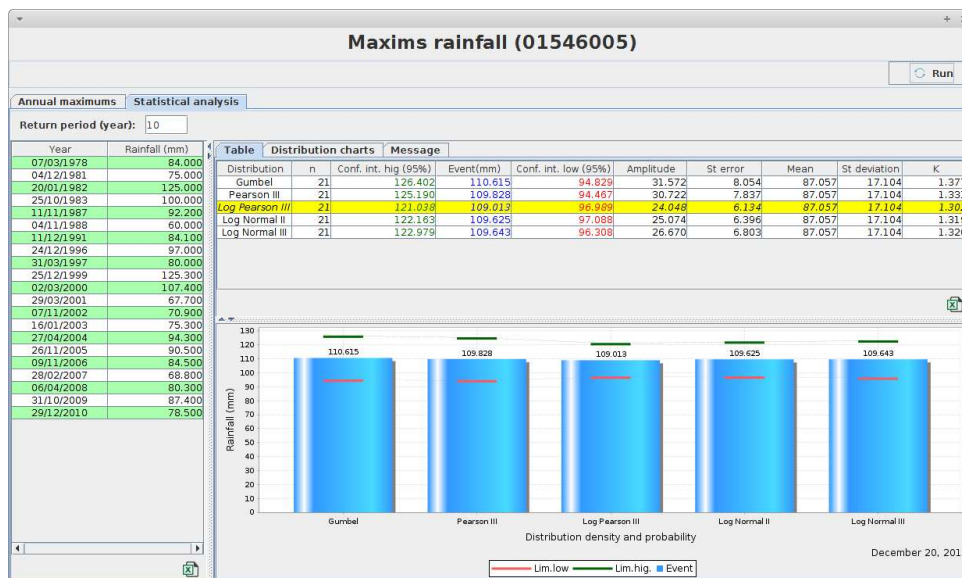


Figura 50: Tela do módulo Vazões Máximas, aba *Statistical analysis*.

A Figura 50 ilustra a aba *Statistical Analysis* que foi implementada segundo a análise estatística da Seção 4.6, cujo o primeiro requisito é a definição do período de retorno que se deseja estudar. O período de retorno estabelecido foi de 10 anos, e com base neste valor todas as funções de densidade e probabilidade foram executadas.

A amostra utilizada (conjunto de dados das precipitações máximas) está apresentada na tabela à esquerda, que é um resumo da tabela exposta na aba *Annual maximums*.

O *frame* da direita conta com três guias, *Table*, *Distribution charts* e *Message*, para apresentar os processamentos executados.

A tabela com os resultados de cada uma das distribuições pinta com cores exclusivas a precipitação máxima para o limite superior do intervalo de confiança (em 95%), a precipitação máxima para o período de retorno e a precipitação máxima para o limite inferior do intervalo de confiança (em 95%). Além de destacar na cor amarela o melhor dos resultados, a função que apresenta menor erro padrão associado e portanto a precipitação máxima para o período de retorno igual a 10 anos. A estimativa que melhor se ajustou foi estabelecida pela distribuição *Log Pearson III* indicando uma precipitação máxima da ordem de 109.013mm.

Por estar em conformidade com o resultado apresentado na tabela, o gráfico além de oferecer melhor forma de visualização do intervalo de confiança, propicia a comparação entre os métodos aplicados.

A aba *Distribution charts* é responsável pelo provimento do gráfico de linhas relacionando Período de Retorno (anos) e Magnitude do evento (*mm*), como pode ser observado na Figura 51. A escolha do gráfico que será gerado fica a cargo do usuário, ao selecionar o nome da função de distribuição no *radio button*, que neste exemplo foi *Log Pearson III*.

Neste gráfico, fica evidente que, para valores maiores de período de retorno, a estimativa da magnitude do evento aumenta. Em termos práticos, esta realidade confere à análise ou projeto (bueiro, barragens, vertedores e etc) que está sendo desenvolvido maior segurança e menos propensão à desastres com chuvas extremas.

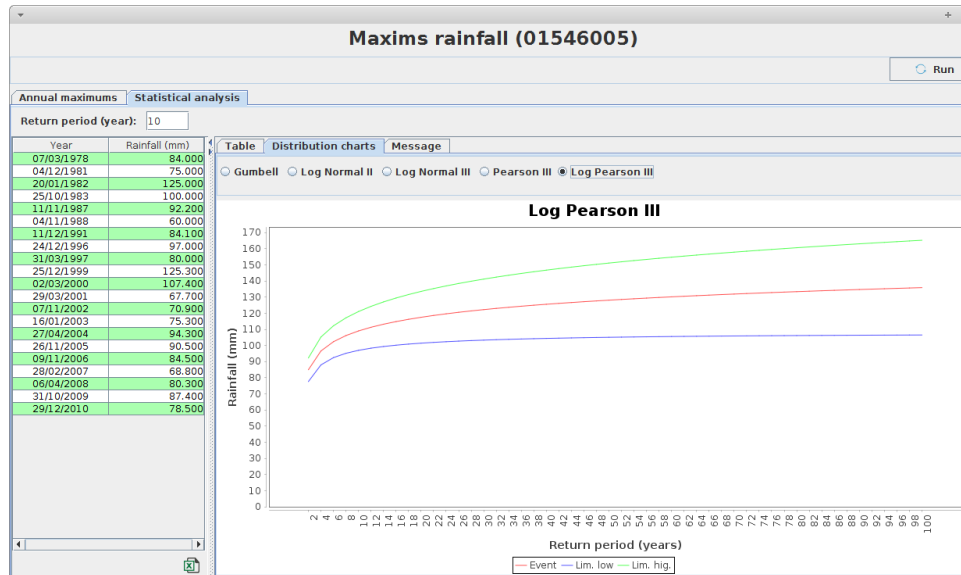


Figura 51: Tela do módulo Precipitação Máximas, aba *Statistical analysis* para, aba *Distribution charts*.

Por fim, existe a aba *Message*, disponibilizada para receber todas mensagens de erro que ocorrer durante o processo de análise estatística do módulo *Precipitações máxima*. Portanto, vale a pena observar esta aba após cada análise feita.

### 5.3.2 Precipitação Média

O módulo *Averages* é acionado através da seleção de uma estação pluviométrica seguido do clique no botão "*Averages*" na tela principal do módulo *Rainfall* (Figura 47). O fluxograma que descreve o seu funcionamento está demonstrado na Figura 52.

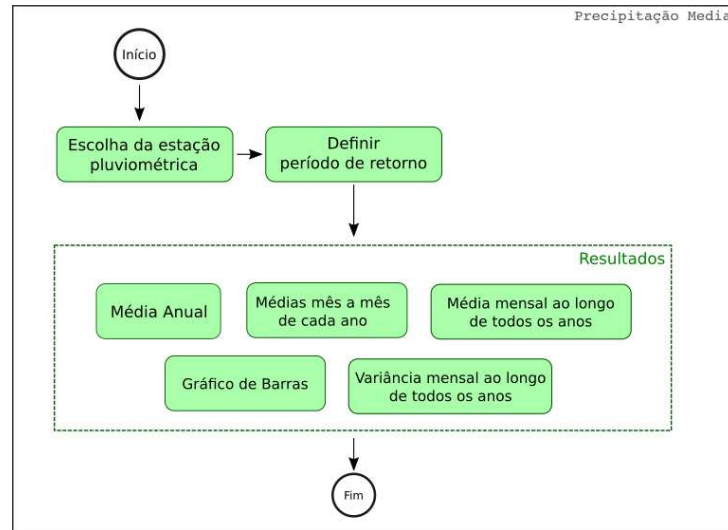


Figura 52: Fluxograma do módulo Precipitação Média.

Para evitar equívocos ao realizar o estudo, o sistema atualiza o título da tela com o código da estação pluviométrica escolhida, neste caso a estação de código 01546005 (Figura 53).

No processo de estimativa da precipitação média, é fundamental, definir o período base. Por *default*, o período preenchido inicialmente, é o período base estação. Para a estação estudada o campo *Initial year* e *final year* estão preenchidos com os anos 1973 e 2016, respectivamente. Concomitante à abertura da módulo, o sistema executa o cálculo da precipitação média de longa duração para o período base e apresenta o resultado logo a frente do campo *Initial year*. Este resultado será obtido pela soma das médias de longa duração (Coluna "*Average (mm)*" Figura 55) de cada mês.

Conforme o fluxograma desta tela, a interação do usuário com o sistema se resume à determinação do período de estudo e do clique no botão *Run*. Pois a medida que o usuário efetua a alteração destes campos o sistema recalculará os principais indicadores relativos à médias anuais, médias mensais, médias de longa duração mensais e gráficos.

Esta tela está seccionada em três abas:

1. **Annual averages:** apresenta a informação por meio de uma tabela e gráfico de barras. Os dados estão discriminados ano a ano com o respectivo valor da média em *mm*. A coluna *Months valid* representa o número de meses do ano que não possui falhas ou que não fora descartado. O ano 1973, apresenta registros apenas para 4 meses dos ano, com isso sua média será determinada com base nestes meses apenas, perfazendo uma precipitação média igual a  $229.075mm$ . A média é calculada exclusivamente sobre o número de meses que existem e não descartados. Caso o usuário decida descartar um mês que não possua falhas o sistema abaterá este mês

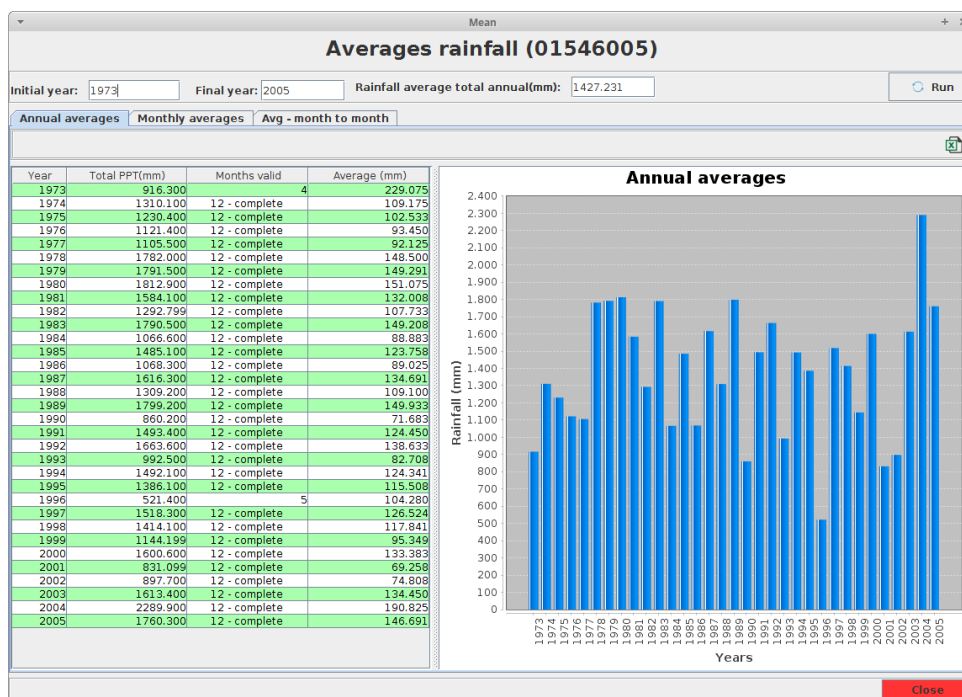


Figura 53: Tela do módulo precipitações médias.

no quantitativo. Portanto a coluna *Average* está diretamente ligada à coluna *Months valid* que por sua vez é sensível ao módulo de descarte de dados.

O *frame* à direita está designado a receber o gráfico (Years x RainFall *mm*) das médias anuais, cujos valores de referência estão na tabela à esquerda. Para cada ano que não estiver descartado, será plotado uma barra com o referido valor médio de precipitação. Já os anos que contém algum tipo de falha e não foram descartados, serão apresentados no gráfico normalmente com seu valor médio calculado.

2. **Monthly averages:** apresenta as médias de cada mês dentro do período base definido. A discriminação dos dados contidos nesta tabela é similar à da tabela de médias anuais, tanto na coluna *Average*, quanto na coluna *Days valid* (Figura 54).
3. **Rainfall average long-term:** apresenta a informação por meio de uma tabela e gráfico de barras. Os dados estão discriminados mês a mês com o respectivo valor do total precipitado, número de meses válidos, da média de longa duração e desvio padrão (Figura 55). Para o mês de Janeiro, o valor da média de longa duração (coluna *Average*) é a média de todos os meses de Janeiro, que não foram descartados, do ano 1974 a 2016. Como a coluna *Months valid* do mês de Janeiro está exibindo 31, isso significa dizer que 2 meses de Janeiro foram descartados pelo usuário ou não apresentam dados, ao longo do período base estipulado. Conferindo pela base mensal da aba *Station* situada na tela principal do sistema *Rainfall*, o que ocorre neste caso é a ausência de dados para mês de Janeiro nos anos 1973 e 1996.

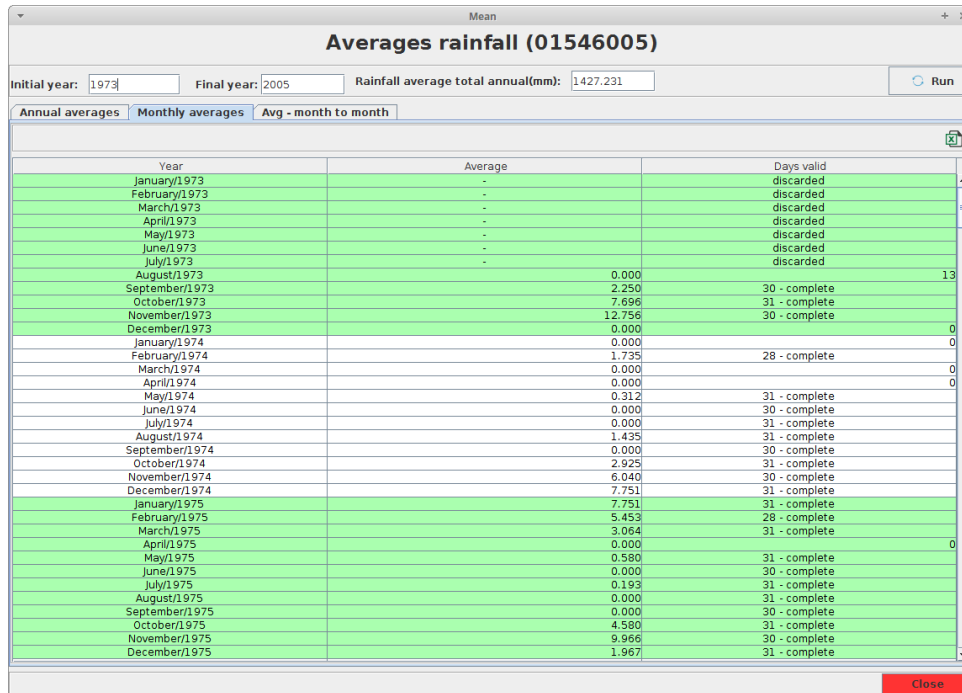


Figura 54: Tela do módulo Precipitações médias, aba *Monthly averages*.

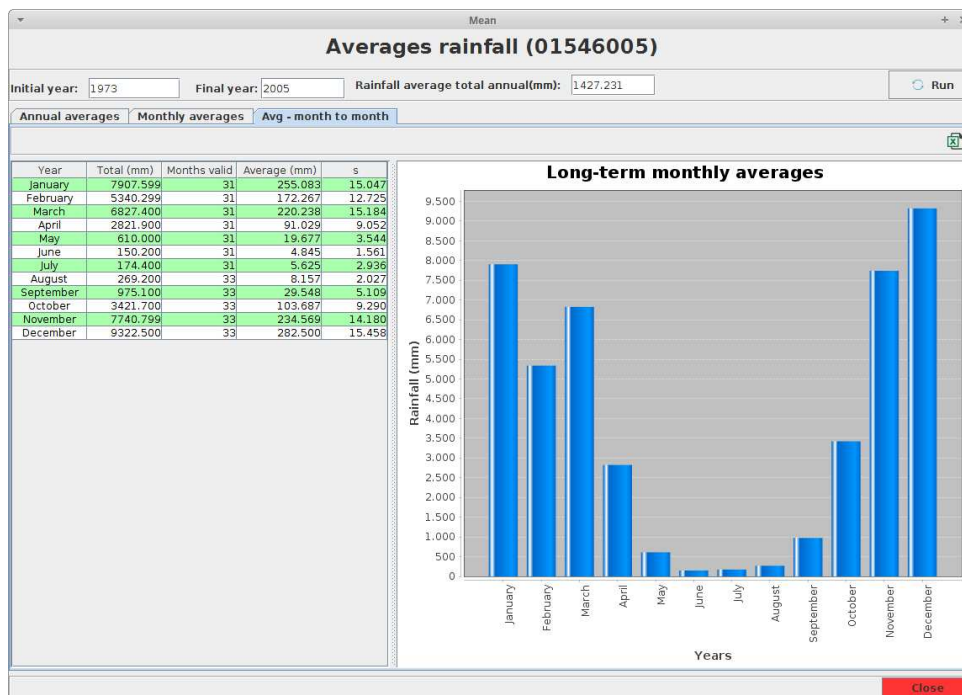


Figura 55: Tela do módulo Precipitações médias, aba *Rainfall average long-term*.

O *frame* à direita está designado a receber o gráfico (Months x Rainfall mm) das médias de longa duração dos meses, cujos valores de referência estão na tabela à esquerda.

### 5.3.3 Fill fails

O módulo *Fill fails* é acionado através de clique no botão "*Fill fails*" na tela principal do módulo *Rainfall* (Figura 47). O fluxograma que descreve o seu funcionamento está demonstrado na Figura 56.

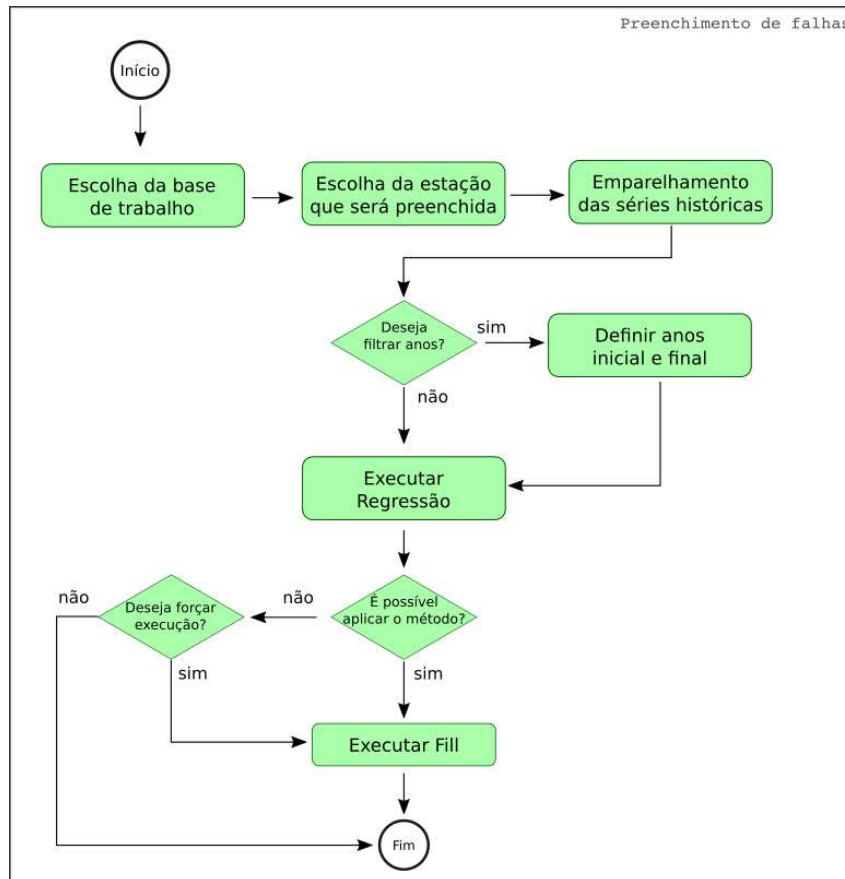


Figura 56: Fluxograma do módulo Preenchimento de falhas Pluviométricas.

A primeira consideração é quanto à Base de Dados de Trabalho que será utilizada no módulo de preenchimento de falhas. Esta base será o conjunto de estações pluviométricas que estão abertas no projeto corrente. Desta forma, caso o usuário não queira que alguma das estações pluviométricas participe do processo de preenchimento, ele deve usar o botão *Delete* da Figura 47 para fazer esta exclusão.

Como pode ser observado na tela do módulo *Fill fails* (Figura 57), o conjunto de estações que são passíveis de escolha é exatamente o conjunto da tela principal do *Rainfall*. A partir daí o usuário deve escolher uma das estações para efetuar o preenchimento. Para isso, deve clicar sobre a *grid* de estações que a seleção será efetivada.

Ao efetuar a seleção, o sistema realiza o emparelhamento dos dados das estações pluviométricas e altera o *background* da coluna referente a estação escolhida para a cor amarela. Este procedimento baseia-se no ano inicial e final de cada uma das estações, e nos registros anuais ou mensais de precipitações. A apresentação na tabela será ano a ano

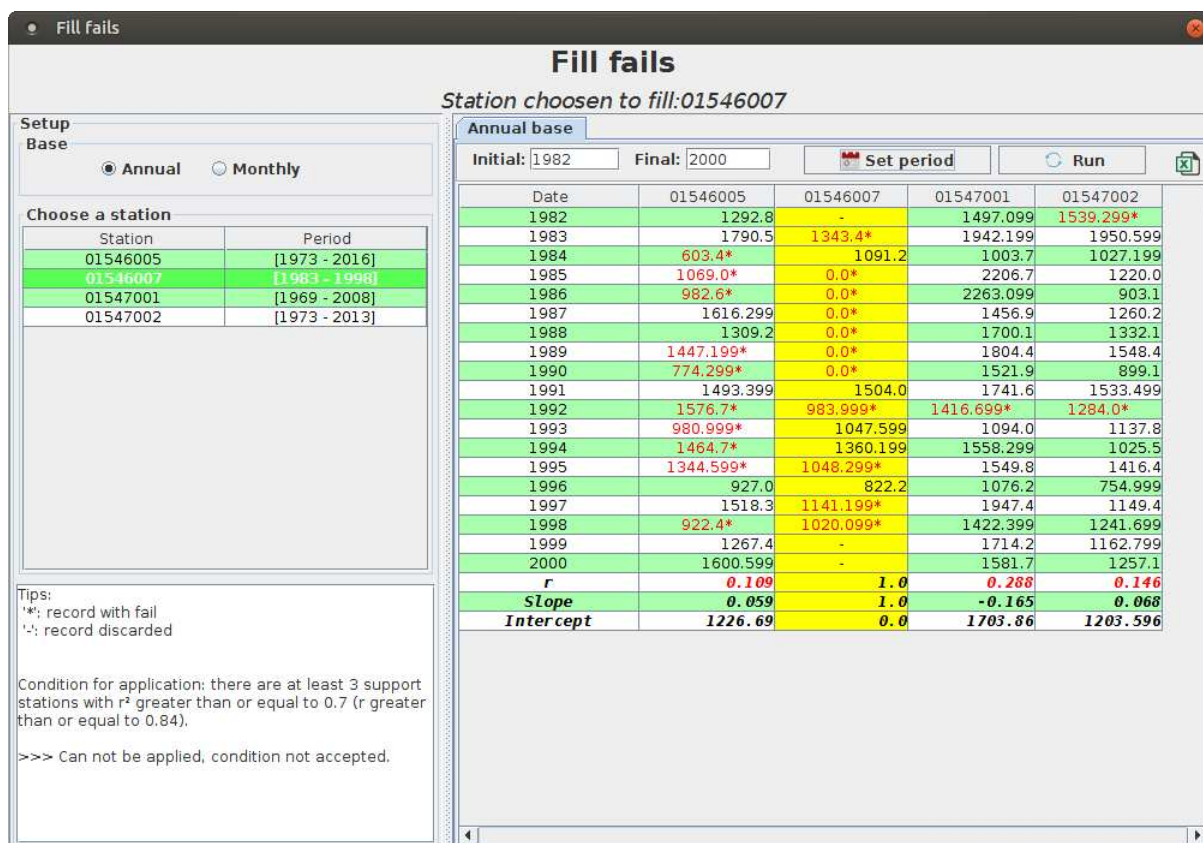


Figura 57: Tela principal do módulo Fill fails.

caso a opção “*Annual*” seja escolhida, ou mês a mês se a opção “*Monthly*” for escolhida. Caso alguma das estações não possua registro no período estabelecido, o *software* cria o registro vazio e sinaliza na tabela com o símbolo “-”. Quando o registro existir, mas possuir algum percentual de falha, o módulo computacional irá apresentá-lo na tabela com o seu real valor seguido do símbolo “\*” (Figura 57). Para evidenciar a presença de falha neste tipo de registro, o *software* pintará as células na cor vermelha. Estas notificações, também estão disponíveis no quadro de dicas que está localizado no *frame* à esquerda, logo abaixo da lista de estações pluviométricas.

Este quadro de aviso, tem a função primordial de notificar ao usuário o significado dos símbolos (- e \*) além de servir como referencial teórico para aplicação do método de preenchimento de falhas.

No *frame* à direita, em seu topo, existe os campos *Initial* e *Final* que servem para filtrar as séries de dados. Uma vez que se defina novos valores para estes campos, a efetivação da operação será mediante ao clique no botão *Set date*, que recortará o emparelhamento feito a priori, de acordo com o novo período de anos.

O passo seguinte é a execução da regressão linear, que é feita para cada uma das estações que estão servindo de base. A cada uma, o sistema efetua o cálculo do *intercept*,

*slope* e *r*, tomando como parâmetro a estação que será preenchida. O resultado de cada uma dessas operações pode ser visualizado nas três últimas linhas (*r*, *slope*, *intercept*) de cada uma das estações. A cor vermelha é usada novamente para destacar a incapacidade de aplicação do método, que segundo o referencial teórico só deve ser praticado quando *r* for superior ou igual à 0.84. Assim sendo, a célula referente ao resultado *r* de uma estação, estará pintada na cor vermelha sempre que esta condição não for satisfeita.

Para manter a coerência estatística, o valor de *r*, *slope* e *intercept* da estação escolhida para o preenchimento apresentará sempre os valores 1.0, 1.0 e 0.0, respectivamente.

No exemplo apresentado na Figura 57, nenhuma das estações 01546005, 01547001, 01547002 apresentaram *r* superior ou igual a 0.84. Por esta razão ao clicar no botão "Run" a seguinte mensagem será apresentada:

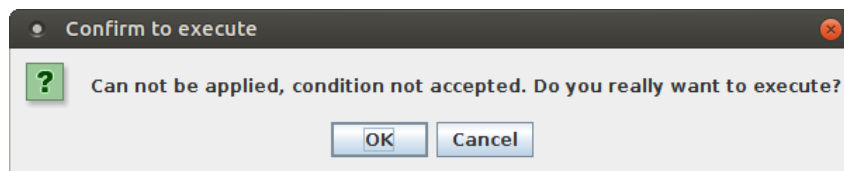


Figura 58: Diálogo de confirmação de execução.

Através desta informação, o sistema deixa evidente para o usuário que a operação que ele deseja fazer não atende os requisitos da metodologia proposta, e transfere ao usuário a responsabilidade do resultado que será gerado.

A Figura 59 constitui o resultado final da execução do processo de preenchimento, a partir do clique no botão "ok" da Figura 58.

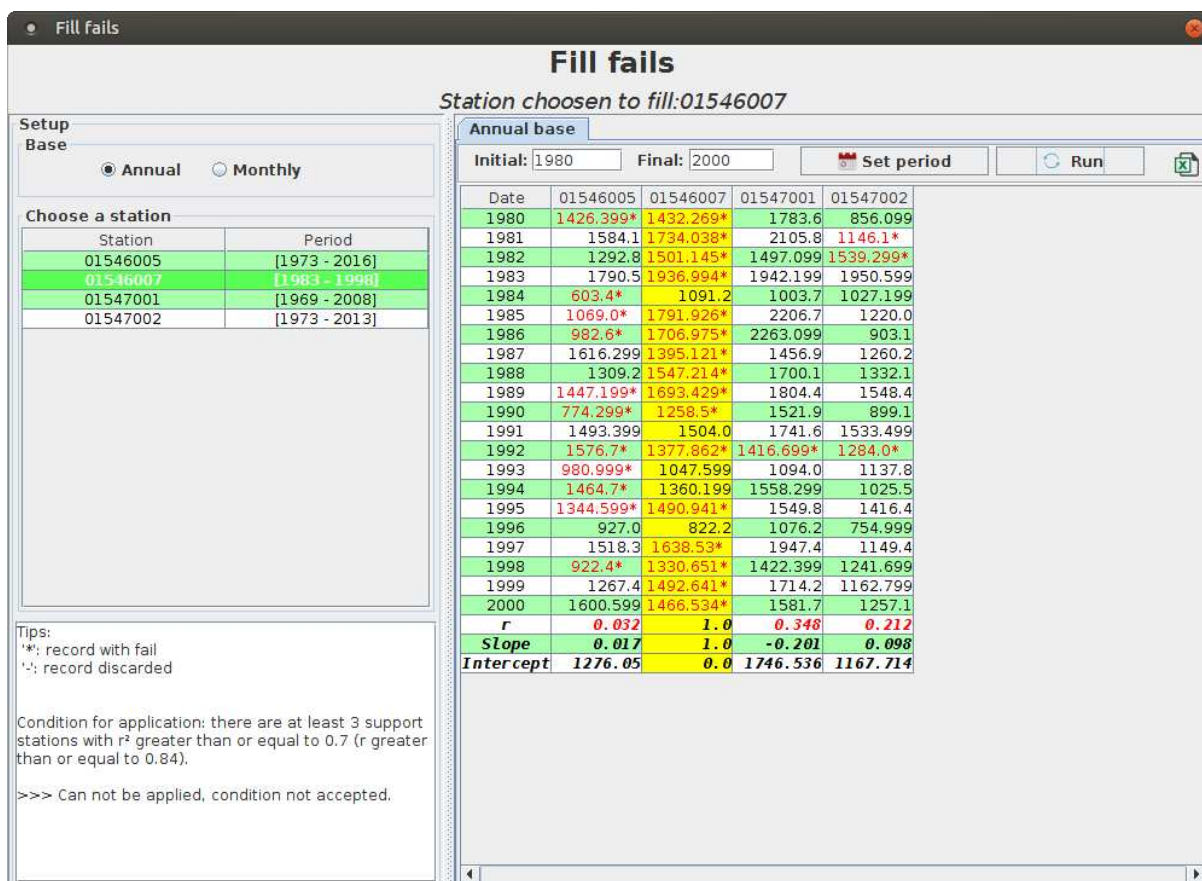


Figura 59: Tela do módulo Fill fails, após preenchimento da estação 01546007.

Ao realizar o preenchimento, aparece novamente o símbolo "\*" agregado à cor vermelha em todos os registros preenchidos. Com isso, fica evidente qual(is) registros foram alterados.

### 5.3.4 Synthetic serie

O módulo *Synthetic serie* é acionado através de clique no botão "*Synthetic serie*" na tela principal do módulo *Rainfall* (Figura 47). O fluxograma que descreve o seu funcionamento está demonstrado na Figura 60.

No topo da tela inicial do módulo "*Synthetic serie*" (Figura 61), está apresentado o título e com ele a metodologia utilizada na geração da serie sintética, a cadeia de Markov. Em seguida estão os campos "*Star year*" e "*length*", juntamente com os botões "*Save*" (desabilitado) e "*Generate*" (habilitado). Logo abaixo, no corpo do módulo, existem três abas: *Pluviometric abstract* (abstract), *Synthetic serie* (desabilitado) e *Comparative* (desabilitado) com seus papéis bem definidos dentro do processo.

Conforme apresentado na secção de metodologia, o primeiro passo que o usuário deve executar é definir o período base que ele deseja tomar como referência para os cálculos

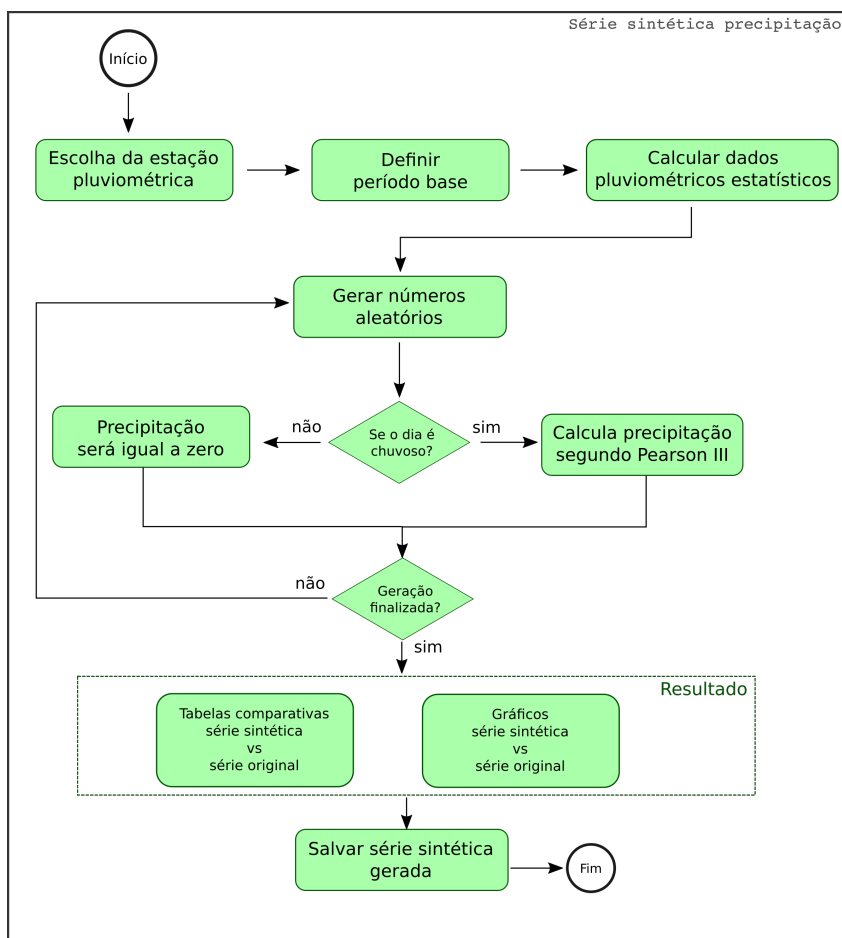


Figura 60: Fluxograma do módulo geração de série sintética.

da nova série que será criada. Note que, por *Default*, o módulo carrega o período original da estação pluviométrica escolhida, e executa todos os cálculos estatísticos produzindo o resumo pluviométrico para a estação, respeitando o período original. Entretanto, basta que o usuário altere os campos “*Initial*” e “*Final*” e clique no botão “*Set date*” que o sistema se encarrega de refazer os cálculos estatísticos de acordo com o novo período base definido e atualizar a tabela do resumo pluviométrico.

Neste quesito de definição do período base, o *Hydrology Plus - software Rainfall*, destaca-se pela presença da análise multiestações na BDT e da análise oferecida pelo diagrama de barras, presente na aba “*Data availability*”. Sua forte integração e acoplamento entre os *softwares* garante aos usuários comodidade, consistência e eficiência nos cálculos e seus pré-requisitos.

O resumo é composto de nove colunas, sendo elas: *Month*, *Sum* (somatório dos totais precipitados em cada mês), *N* (total de registros diários que contém a amostra), *Average*, *s* (desvio padrão da amostra), *Skew Fisher* (assimetria), *Months valid*, *PCC* (Probabilidade de ocorrer dia chuvoso dado que o anterior foi chuvoso) e *PCS* (Probabilidade de ocorrer dia chuvoso dado que o dia anterior foi seco).

Month	Sum	N	Average	s	Skew	Months valids	PCC	PCS
January	7451.900	1209.000	6.163	12.800	3.183	43	0.696	0.237
February	5726.500	1111.000	5.154	12.213	3.507	43	0.587	0.223
March	6164.999	1232.000	5.004	12.088	3.514	43	0.592	0.208
April	2838.699	1257.000	2.258	8.091	5.080	43	0.404	0.119
May	701.599	1302.000	0.538	3.007	7.723	43	0.364	0.044
June	198.999	1260.000	0.157	1.773	16.530	43	0.269	0.015
July	252.300	1282.000	0.196	2.255	13.903	43	0.095	0.015
August	275.200	1271.000	0.216	2.048	12.471	43	0.392	0.013
September	862.499	1234.000	0.698	3.598	6.839	43	0.365	0.058
October	4100.700	1311.000	3.127	8.898	4.488	43	0.520	0.184
November	8270.500	1176.000	7.032	12.702	2.580	43	0.645	0.350
December	11237.199	1302.000	8.630	14.956	2.722	43	0.694	0.374

Figura 61: Tela principal do módulo Synthetic serie.

Embora as colunas SUM e N não componham efetivamente o processo de geração da série elas foram apresentadas no módulo por conferirem maior entendimento às demais colunas da tabela, e permitirem a conferência dos valores.

Seguindo o fluxograma do módulo, uma vez determinado o resumo pluviométrico, o passo seguinte é gerar a série sintética, clicando no botão “Generate”, no entanto, é necessário que o usuário defina previamente qual será o ano inicial e a extensão da nova série, respectivamente. Caso o usuário não preencha estes campos o valor adotado para “Start year” será o ano inicial da serie original e para “Length” será de 100 anos.

Ao disparar o processo de geração da série sintética, o módulo se encarrega de gerar os números aleatórios e fazer as devidas estimativas conforme explicado na seção Metodologia. Ao final da geração, as abas “Synthetic serie” e “Comparative” são habilitadas para que o usuário tenha acesso ao resultado final da operação (Figura 62).

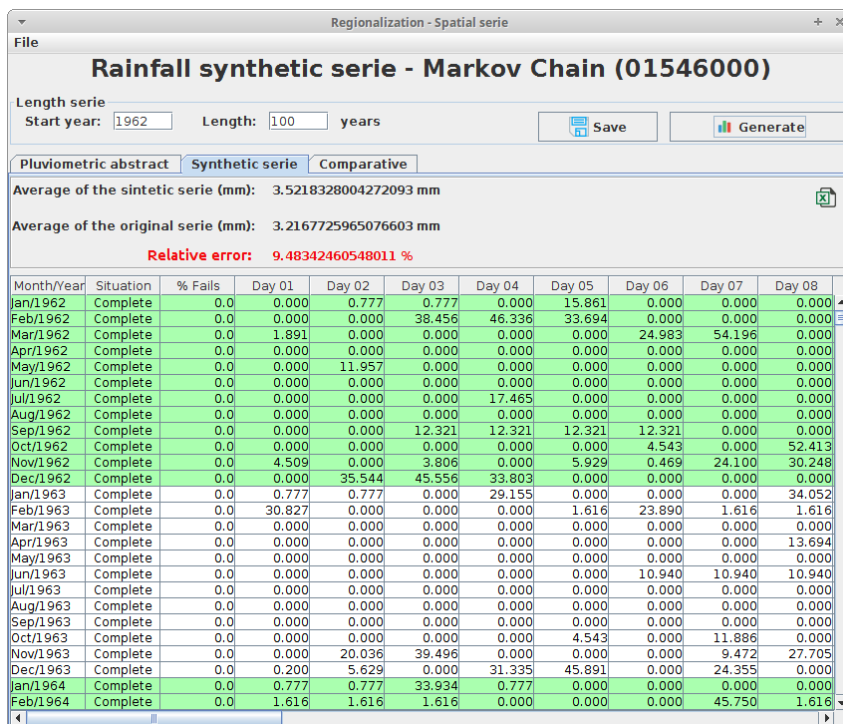


Figura 62: Tela principal do módulo Synthetic serie após geração da série.

Mesmo sendo um processo estocástico, sempre que o usuário executar o módulo de geração de série sintética para uma mesma estação pluviométrica e um mesmo período, os dados produzidos serão idênticos. Este comportamento é possível mediante utilização de uma mesma semente na função de geração dos números aleatórios. Neste caso o *software* utilizou como semente o código da estação "015460000".

A aba "Synthetic serie" exhibe ao usuário um primeiro comparativo entre a média de toda extensão da série original e da série sintética, utilizando como parâmetro o Erro Relativo. Em seguida, está a tabela com os dados seguindo o padrão de visualização dos dados em base diária.

Nesta tabela, observa-se que todos os meses (linhas) são considerados completos, pois coluna "%Fails" é igual a zero, confirmando que foram gerados tantos números aleatórios quanto a extensão da série desejada exigiu.

Para verificar a confiabilidade deste novos dados, a aba "Comparative" foi criada, e nela estão inseridas três abas comparando o comportamento da média (aba "Average"), do desvio padrão (aba "Desviate") e da assimetria (aba "Skew"). Em cada delas o usuário poderá analisar o resultado por meio de uma tabela e de uma gráfico (Figura 63).

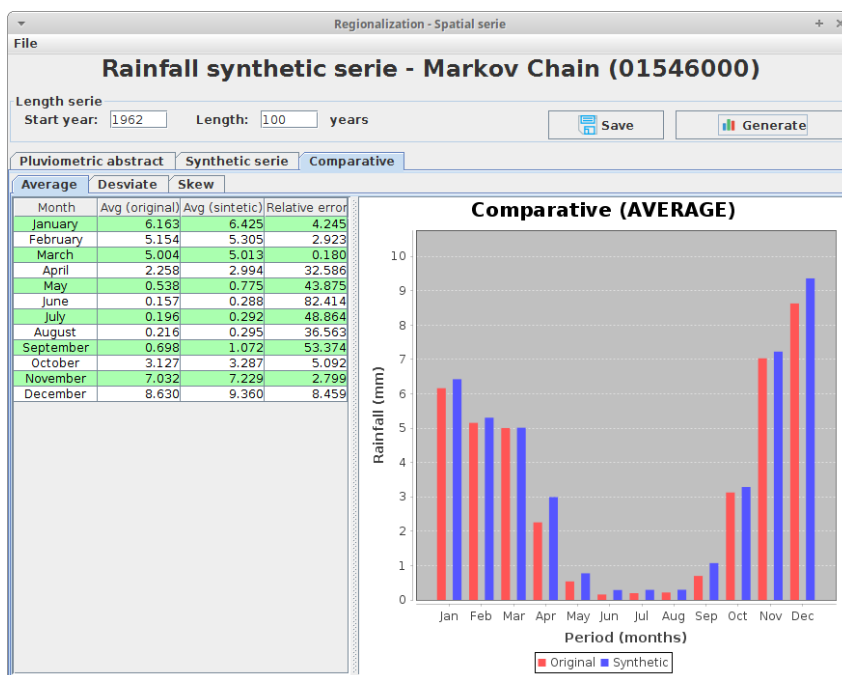


Figura 63: Tela do módulo Synthetic serie, comparativo dos resultados.

## 5.4 Análise fluviométrica

O *software Streamflow* tem por finalidade oferecer ferramentas que possibilitem o usuário efetuar análises hidrológicas a partir de séries históricas de vazão. Conforme fluxograma apresentado na Figura 6 os módulos referentes a este sistema são: vazão mínima, curva de permanência, vazão média, vazão máxima. O sistema Preliminary Analysis (Seção 5.2), está integrado ao sistema *Streamflow* oferecendo todas as suas funcionalidades.

A Figura 64 ilustra a tela principal do sistema *Streamflow* com o projeto *Teste-Exemplo* aberto. Este projeto foi criado apenas para exemplificar as funcionalidades do sistema.

No menu principal, são oferecidas ao usuário quatro opções, *Project*, *View*, *Preliminary Analysis* e *Tools*. O primeiro oferece as opções referentes ao gerenciamento de projetos: *Project manangement*, *Close project*, *Save*, *Save as* e *Exit*. O funcionamento de cada um destes item segue o mesmo comportamento que o apresentado na Seção 5.2.1 do *software Preliminary Analysis*. Cabe ressaltar que aqui somente serão aceitos projetos advindos de estações fluviométricas, que é o foco deste *software*. O segundo é o menu do módulo *View* (Seção 5.2.6) que apresenta ao usuário a série histórica da estação escolhida de diferentes maneiras. A terceira opção do menu é a integração com *software Preliminary Analysis*, através das três mais relevantes funcionalidades deste: *Discard data*, *Stationarity* e *box plot*. Por fim, a última opção do menu principal é o *Tools*, que disponibiliza ao usuário as ferramentas necessárias para que o *software Streamflow* atinja seu objetivo.

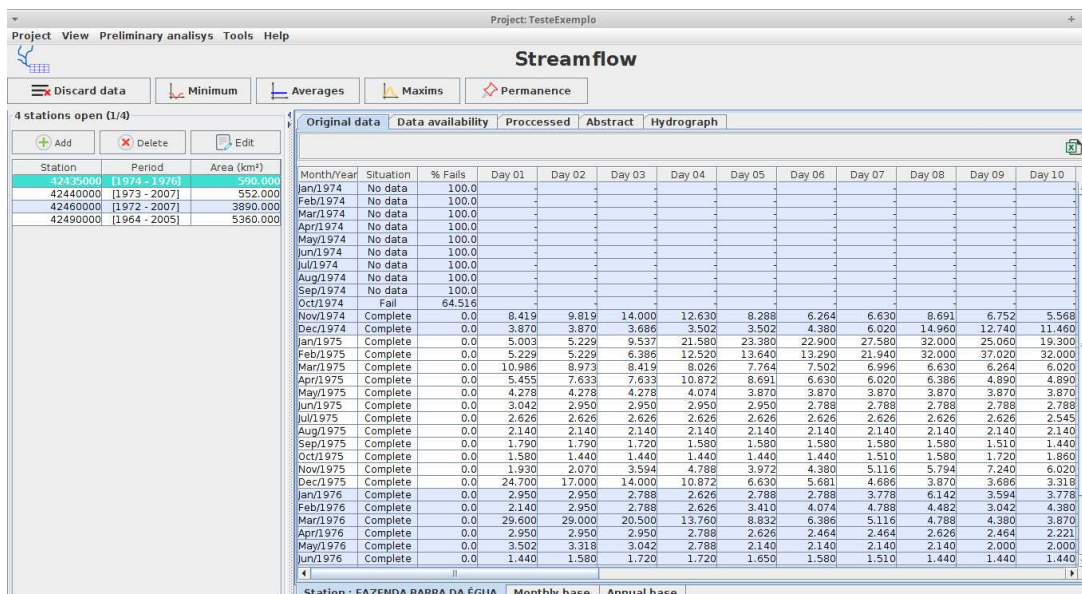


Figura 64: Tela principal do módulo Streamflow.

Na barra de botões, estão dispostos os quatro botões (*Minimum*, *Average*, *Maxims*, *Permanence*) da caixa de ferramentas do sistema *Streamflow* e o botão *Discard data* referente ao sistema *Preliminary Analysis*. Ao clicar nestes botões o referido módulo é executado. Estes módulos serão descritos a seguir.

Através da tela inicial do sistema *Streamflow* (Figura 64), destaca-se a presença da Base de Dados de Trabalho (BDT) com as estações fluviométricas abertas no *frame* à esquerda e o *frame Conteúdo* à direita. O comportamento desta estrutura está descrita na Seção 5.2.2, e aqui seguirá o mesmo funcionamento.

### 5.4.1 Vazão Mínima

O módulo *Minimum* é acionado através da seleção de uma estação fluviométrica seguido do clique no botão "*Minimum*" na tela principal do módulo *Streamflow* (Figura 64). O fluxograma que descreve o seu funcionamento está demonstrado na Figura 65.

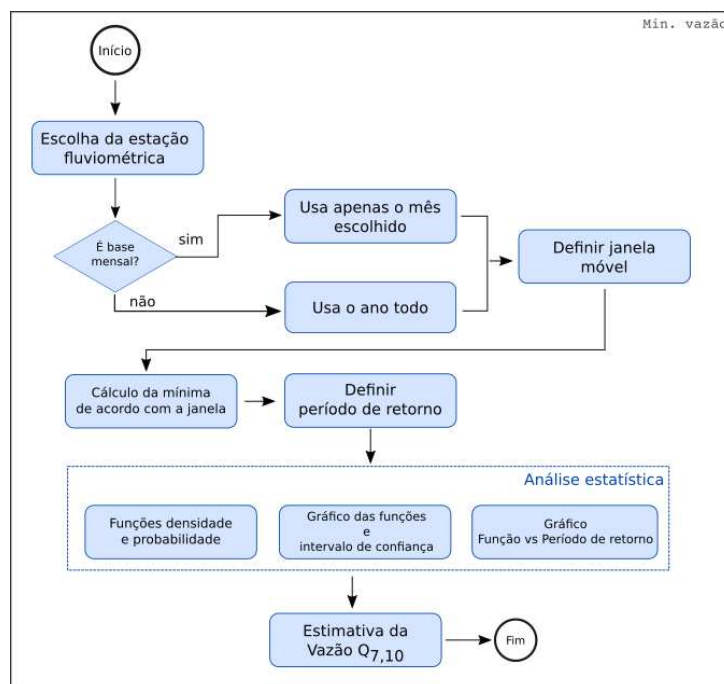


Figura 65: Fluxograma do módulo Vazões Mínimas.

Logo no título da tela observa-se o código da estação fluviométrica escolhida. Deve-se atentar para este fato para não correr o risco de analisar a série histórica errada.

No processo de estimativa da vazão mínima, é fundamental, definir se o usuário estudará as vazões mínimas do ano como um todo (base anual), ou apenas um mês específico (base mensal). Assim, logo ao iniciar o módulo o usuário deve informar se a base é anual ou mensal (Figura 66). Caso seja escolhido base mensal é necessário também definir o mês a ser analisado. No exemplo em questão, o mês escolhido no "combobox" foi o mês de Janeiro, isso significa que o sistema executará a busca pela ocorrência da vazão mínima apenas no mês de Janeiro de cada ano (Figura 66b). Caso o "checkbox" *Monthly* esteja desmarcado, e a base anual escolhida, o "combobox" referente a escolha do mês é escondido, e portanto a sistema executará a busca pela ocorrência da vazão mínima ao longo de todo o ano (Figura 66a).

Ao oferecer a estimativa das vazões mínimas em base anual e mensal, o sistema confere ao usuário uma poderosa ferramenta para o processo de outorga de água. Uma vez que a análise sazonal das vazões mínimas associadas a um período de retorno confere uma outorga mais coerente com a disponibilidade hídrica mensal da estação do que as análises feitas única e exclusivamente em bases anuais.

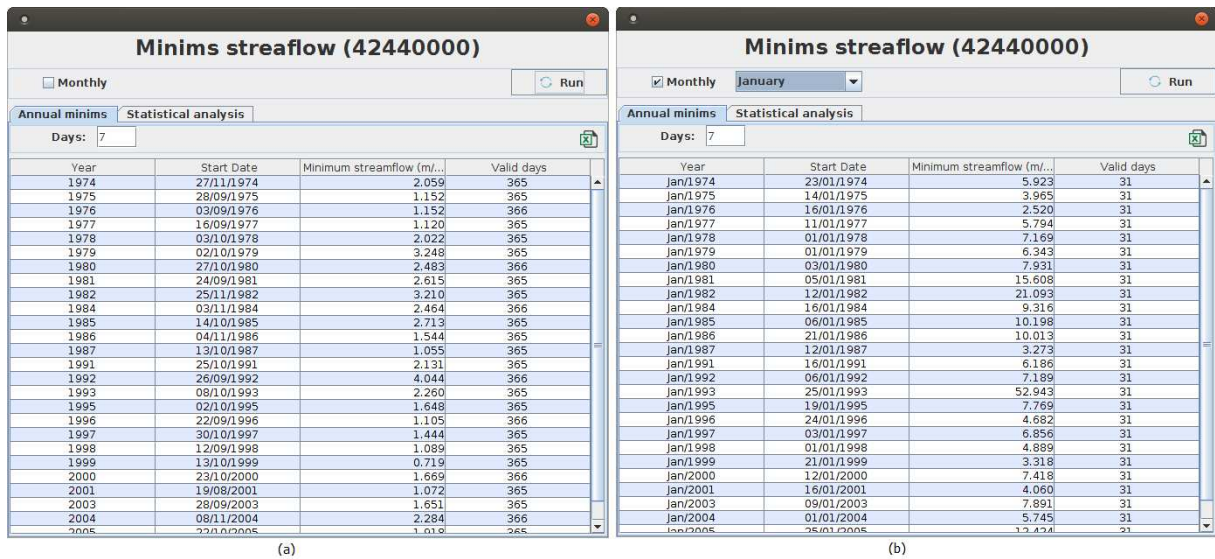


Figura 66: (a) Tela do módulo Vazões Mínimas, aba *Annual minims* para base anual. (b) Tela do módulo Vazões Mínimas, aba *Annual minims* para base mensal.

O módulo é subdividido em duas abas: *Annual minims* e *Statistical analysis* (Figura 66). A primeira apresenta uma tabela com os resultados das vazões mínimas e a segunda a análise estatística por meio de tabelas e gráficos como será detalhado a seguir.

A aba *Annual minims* exibe a tabela com o resultado da vazão média mínima calculada através das médias móveis obtida para cada ano da série histórica. A coluna *Year* apresenta a informação mês/ano ou apenas ano, quando a base escolhida for mensal ou anual, respectivamente. A coluna *Start date* exibe a data inicial da janela em que o sistema encontrou a menor média. Esta data se refere ao dia inicial das datas que foram utilizadas para o cálculo da média. No mês de Janeiro do ano 1974, a menor média mínima foi encontrada ao processar a média móvel do dia 23/01, cujo valor  $5.923m^3/s$ . Nesta coluna é possível perceber que, em todas as linhas a data pertence ao mês de Janeiro, ratificando que a base mensal foi estabelecida com sucesso. E ainda, que nenhuma das data superou o dia 25/01, confirmando a consistência dos cálculos sobre a janela móvel de 7 dias. Caso a base anual estivesse selecionada, as datas possíveis poderiam variar de 01/01 à 25/12, uma vez que a análise é feita utilizando todos os meses do ano. A informação da última coluna (*Valid days*), exibe quantos dias foram válidos, isto é, quantos não apresentaram falhas. Esta informação também é essencial no processo de tratamento dos casos especiais.

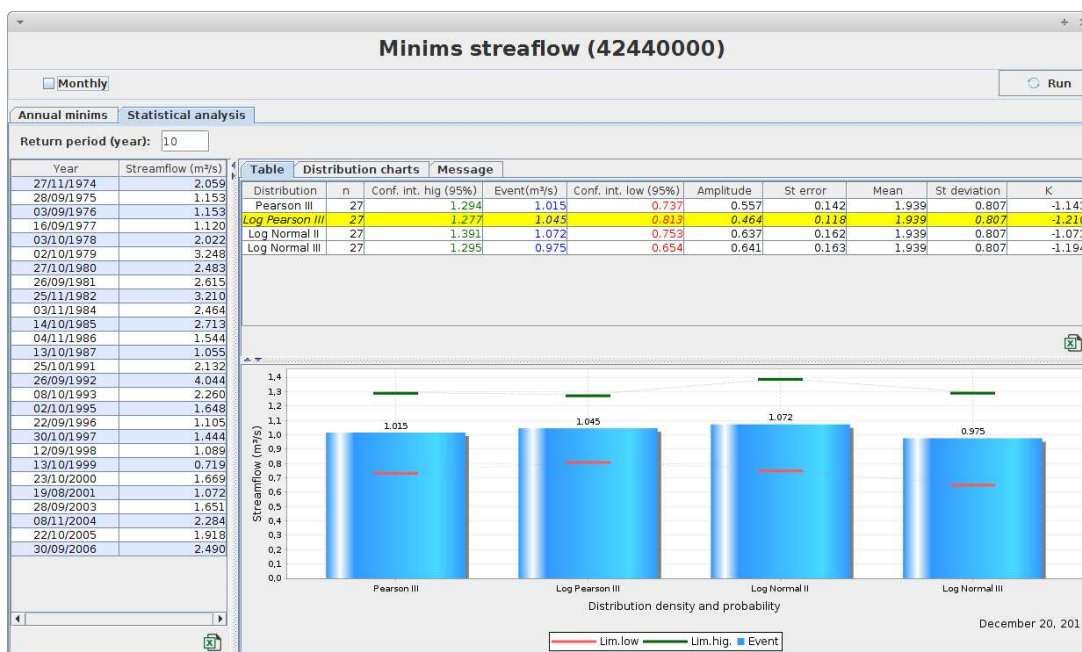


Figura 67: Tela do módulo Vazões Mínimas, aba *Statistical analysis* para base anual.

A Figura 67 ilustra a aba *Statistical Analysis* que foi implementada segunda a análise estatística da Seção 4.6, cujo o primeiro requisito é a definição do período de retorno que se deseja estudar. O período de retorno estabelecido foi de 10 anos, e com base neste valor todas as funções de densidade e probabilidade foram executadas. A amostra utilizada está apresentada na tabela à esquerda que é um resumo da tabela exposta na aba *Annual minims*.

O *frame* da direita conta com três abas para exprimir processamentos executados:

1. **Table:** As principais informações estão contidas nesta aba, que utiliza uma tabela para discriminar cada uma das funções, e um gráfico de barras permitindo o efeito comparativo entre as distribuições.

Na tabela, para cada distribuição, existe o nome da distribuição, o tamanho da amostra utilizada, a vazão mínima para o limite superior do intervalo de confiança (em 95%), a vazão mínima para o período de retorno, a vazão mínima para o limite inferior do intervalo de confiança (em 95%), a amplitude, o erro padrão, a média, o desvio padrão, e o fator de frequência (K). O melhor dos resultados, a função que apresenta menor erro padrão associado está demarcada com a cor amarela, sinalizando que, para esta análise a vazão mínima no intervalo de 7 dias consecutivos e para um período de retorno igual a 10 anos é  $1.045m^3/s$  e foi estabelecida pela distribuição *Log Pearson III*.

No gráfico, estão plotadas as barras azuis referentes à magnitude do evento (a vazão mínima) em  $m^3/s$  para as funções Pearson III, Log Pearson III, Log Normal II e

Log Normal. Além das barras estão demarcadas também as retas referentes ao valor do evento para o limite superior do intervalo de confiança e para o limite inferior do intervalo de confiança.

Neste exemplo, foi possível estimar o valor do evento para todas as funções que foram propostas, entretanto, de acordo com a amostra estudada, pode ocorrer que alguma das funções se mostre incapaz de fazer a estimativa. Quando isso ocorrer, a(s) função(ões) não será(ão) apresentada(s) na tabela, nem plotada(s) no gráfico.

2. **Distribution charts:** Ao analisar o comportamento do evento extremo de vazão mínima, é comum balizar-se pelo período de retorno, que a medida que é aumentado apresenta um resultado mais conservador. Uma forma de verificar o comportamento destes cenários é pela alteração do campo período de retorno seguido do clique no botão *Run*. Visando maior eficiência neste procedimento, o aba *Distribution charts* provê um gráfico de linhas relacionando Período de Retorno (anos) e Magnitude do evento ( $m^3/s$ ), como pode ser observado na Figura 68.

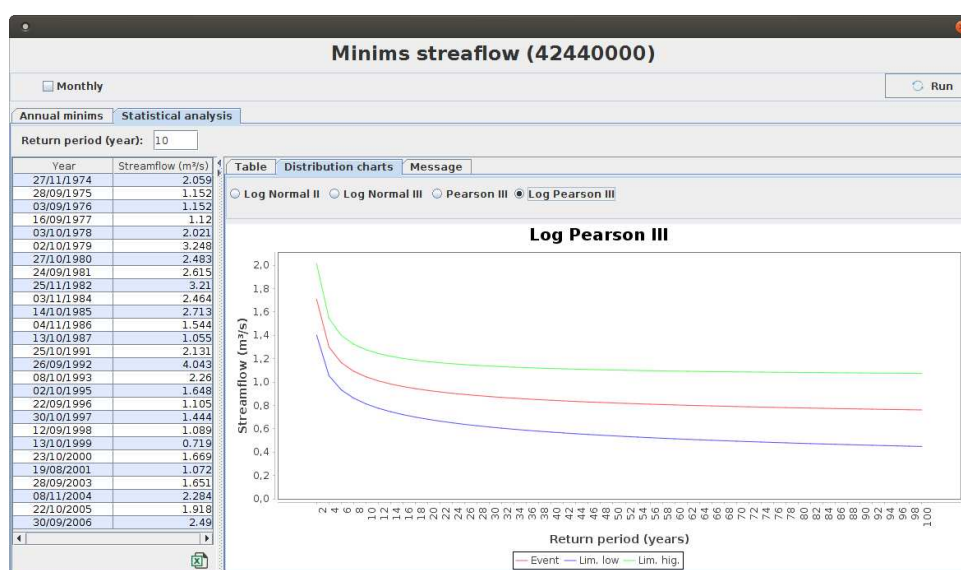


Figura 68: Tela do módulo Vazões Mínimas, aba *Statistical analysis* para base anual, aba *Distribution charts*.

Neste gráfico estão plotados também os valores dos eventos para os limites superiores e inferiores do intervalo de confiança, com as devidas cores diferenciadas.

Outra funcionalidade presente é a escolha de qual distribuição o usuário deseja analisar. Há no topo, um *radio button* com os nomes das funções disponíveis, sendo necessário apenas um clique para o gráfico ser gerado novamente. Funcionalidades como estas conferem maior dinamismo no processo de análise e tomada de decisão.

3. **Message:** Esta última aba foi disponibilizada para receber todas mensagens de erro que ocorrerem durante o processo de análise estatística do módulo *Vazões mínimas*.

Quando uma distribuição não for capaz de estimar a magnitude do evento, ela enviará sua mensagem de erro para este espaço. Com isso o usuário fica ciente do comportamento do sistema.

Finalmente, assim como em todo o sistema, estão disponíveis neste módulo os botões *Exportar para planilha eletrônica* que permitem salvar as tabelas a que se referem no formato passivo de abertura por *softwares* específicos como por exemplo o *Calc*.

#### 5.4.2 Vazão Máxima

O módulo *Maxims* é acionado através da seleção de uma estação fluviométrica seguido do clique no botão "*Maxims*" na tela principal do módulo *Streamflow* (Figura 64). O fluxograma que descreve o seu funcionamento está demonstrado na Figura 69.

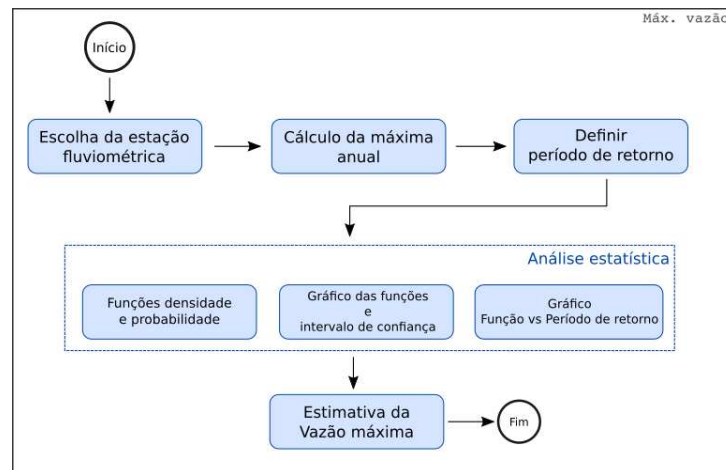


Figura 69: Fluxograma do módulo Vazões Máximas.

Logo no título da tela observa-se o código da estação fluviométrica escolhida. Deve-se atentar para este fato para não correr o risco de analisar a série histórica indesejada.

O módulo *Maxims* segue a mesma estrutura de apresentação do módulo *Minimum*, subdividido também em duas abas: *Annual maximums* e *Statistical analysis* (Figura 70). A primeira apresenta a tabela com os as vazões máximas observadas e a segunda a análise estatística por meio de tabelas e gráficos.

A aba *Annual maximums* exibe a tabela com o resultado da vazão máxima observada para cada ano da série histórica. A coluna *Year* apresenta a informação mês/ano ou apenas ano, quando a base escolhida for mensal ou anual, respectivamente. A coluna *Date* exibe a data exata em que foi registrada a maior vazão do ano. Neste processo de estimativa da vazão máxima não há o processo de médias móveis. Por fim, estão disponíveis as colunas *Maxims streamflow* e *Valid days*, que exibem o valor da vazão máxima e quantos dias no ano não possuem falhas, respectivamente.

Year	Date	Maxims streamflow (m/s³)	Valid days
1974	20/03/1974	84.521	365
1975	07/02/1975	88.193	365
1976	28/12/1976	61.513	366
1977	25/12/1977	64.571	365
1978	16/01/1978	70.088	365
1979	18/01/1979	90.501	365
1980	17/01/1980	74.328	366
1981	31/10/1981	96.078	365
1982	05/03/1982	84.521	365
1984	09/12/1984	46.184	366
1985	30/12/1985	122.755	365
1986	08/01/1986	91.195	365
1987	13/12/1987	88.885	365
1991	28/03/1991	99.825	365
1992	02/12/1992	111.435	366
1993	18/02/1993	75.450	365
1995	06/01/1995	88.654	365
1996	11/01/1996	16.671	366
1997	16/12/1997	64.049	365
1998	08/12/1998	46.878	365
1999	25/12/1999	139.052	365
2000	12/03/2000	76.534	366
2001	02/01/2001	46.067	365
2003	27/03/2003	74.979	365
2004	10/02/2004	129.573	366
2005	02/02/2005	149.166	365
2006	14/03/2006	84.852	365

Figura 70: Tela do módulo Vazões Máximas, aba *Annual maximums*.

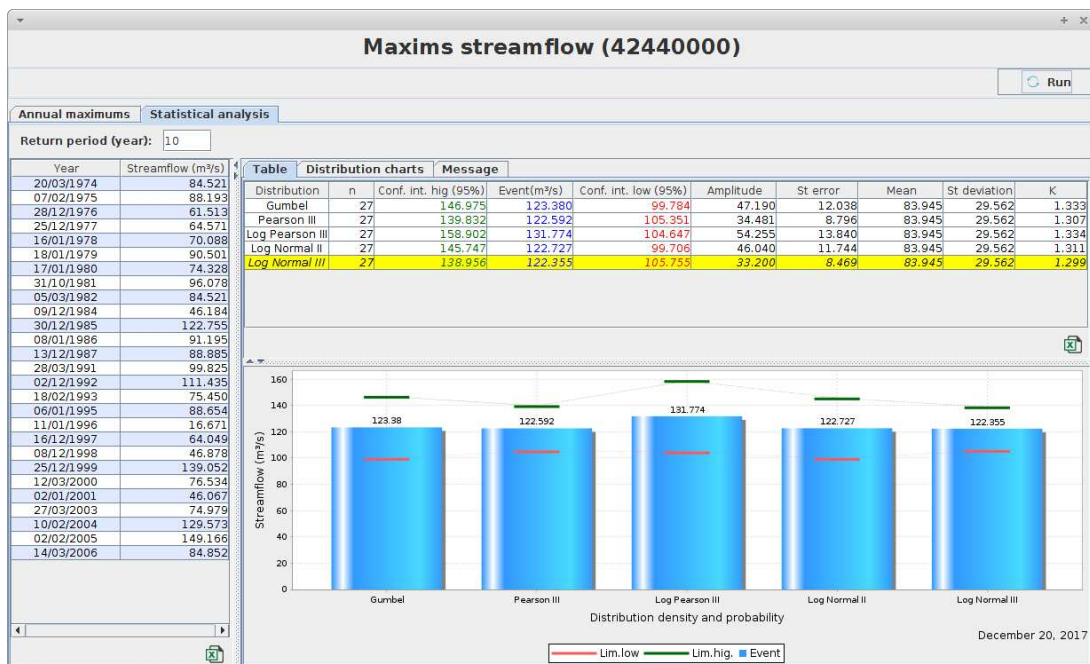


Figura 71: Tela do módulo Vazões Máximas, aba *Statistical analysis*.

A Figura 71 ilustra a aba *Statistical Analysis* que foi implementada segundo a análise estatística da Seção 4.6, cujo o primeiro requisito é a definição do período de retorno que se deseja estudar. O período de retorno estabelecido foi de 10 anos, e com base neste valor todas as funções de densidade e probabilidade foram executadas.

A amostra utilizada está apresentada na tabela à esquerda que é um resumo da

tabela exposta na aba *Annual maximums*.

O *frame* da direita conta com três abas, *Table*, *Distribution charts* e *Message*, para apresentar processamentos executados.

A tabela com os resultados de cada uma das distribuições pinta com cores exclusivas a vazão mínima para o limite superior do intervalo de confiança (em 95%), a vazão mínima para o período de retorno e a vazão mínima para o limite inferior do intervalo de confiança (em 95%). Além de destacar na cor amarela o melhor dos resultados, a função que apresenta menor erro padrão associado e portanto a vazão máxima para o período de retorno igual a 10 anos. A estimativa mais adequada foi estabelecida pela distribuição *Log Normal III* indicando uma vazão máxima da ordem de  $122.355m^3/s$ .

Por estar em conformidade com o resultado apresentado na tabela, o gráfico oferece melhor forma de visualização do intervalo de confiança, e propicia a comparação entre os métodos aplicados.

A aba *Distribution charts* é responsável pelo provimento do gráfico de linhas relacionando Período de Retorno(anos) e Magnitude do evento ( $m^3/s$ ), como pode ser observado na Figura 72. A escolha do gráfico que será gerado fica a cargo do usuário, ao selecionar o nome da função de distribuição no *radio button*.

Novamente na estimativa das vazões máximas para este gráfico, fica evidente que, para valores maiores de período de retorno, o ajuste estatístico da magnitude do evento aumenta. Na práticos, esta realidade confere ao projeto hidráulico (bueiro, barragens, vertedores e etc) que está sendo desenvolvido maior segurança diante dos eventos de vazões máximas.

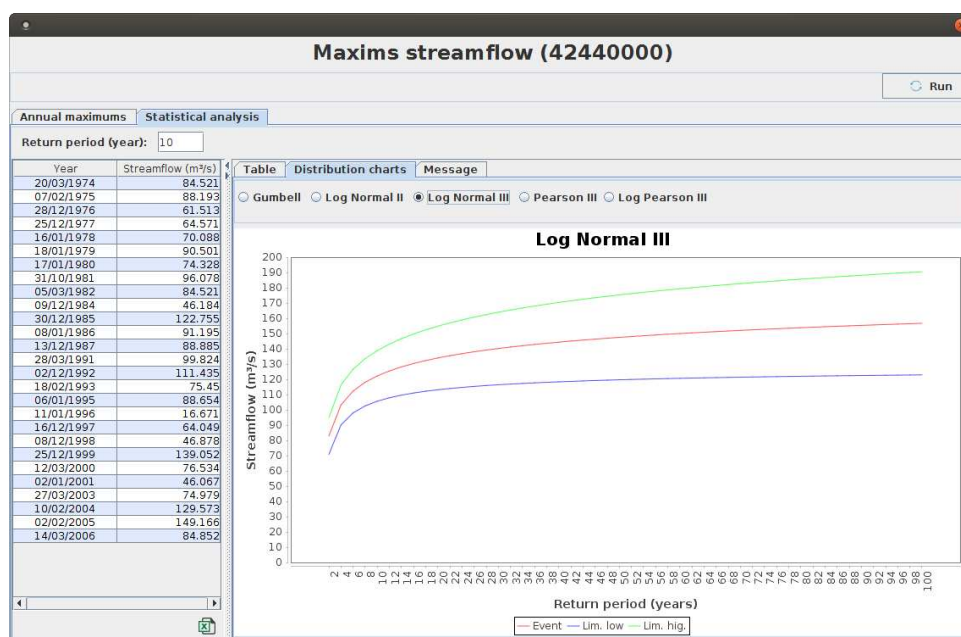


Figura 72: Tela do módulo Vazões Máximas, aba *Statistical analysis* para, aba *Distribution charts*.

Nota-se que o comportamento deste gráfico é o inverso do gráfico da estimativa vazão mínima.

Por fim, existe a aba *Message*, disponibilizada para receber todas mensagens de erro que ocorrer durante o processo de análise estatística do módulo *Vazões máxima*.

### 5.4.3 Vazão Média

O módulo *Averages* é acionado através da seleção de uma estação fluviométrica seguido do clique no botão "*Averages*" na tela principal do módulo *Streamflow* (Figura 64). O fluxograma que descreve o seu funcionamento está demonstrado na Figura 73.

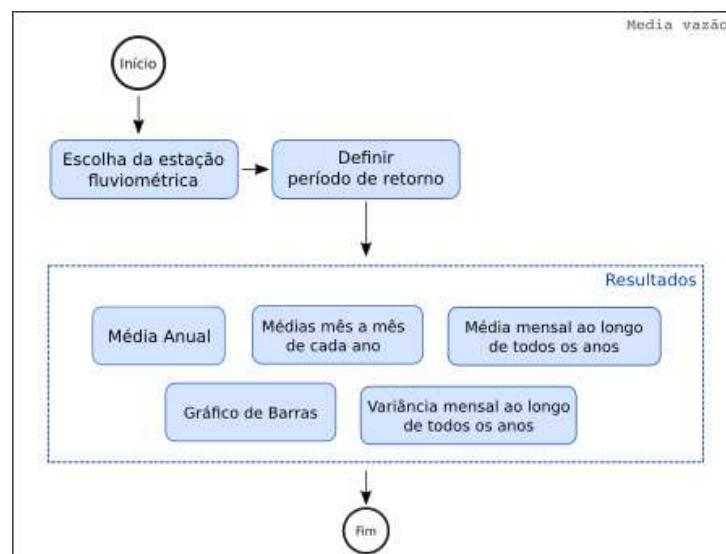


Figura 73: Fluxograma do módulo das Vazões Médias.

Para evitar equívocos ao realizar o estudo, o sistema atualiza o título da tela com o código da estação fluviométrica escolhida (Figura 74).

No processo de estimativa da vazão média, é fundamental definir o período que será investigado. Por *default* o período preenchido inicialmente é o período base estação. Para a estação estudada o campo *Initial year* e *final year* estão preenchidos com os anos 1973 e 2007, respectivamente. Concomitante à abertura da módulo, o sistema executa o cálculo da  $Q_{mld}$  para o período base e apresenta o resultado logo a frente do campo *Initial year*.

Conforme o fluxograma desta tela, a interação entre o sistema e o usuário pode ser resumida praticamente à determinação do período de estudo e do clique no botão *Run*. Pois a medida em que o usuário efetua a alteração destes campos, o sistema se encarrega de recalculer os principais indicadores relativos à medias anuais, medias mensais,  $Q_{mld}$  mensais e gráficos.

Esta tela está seccionada em três abas:

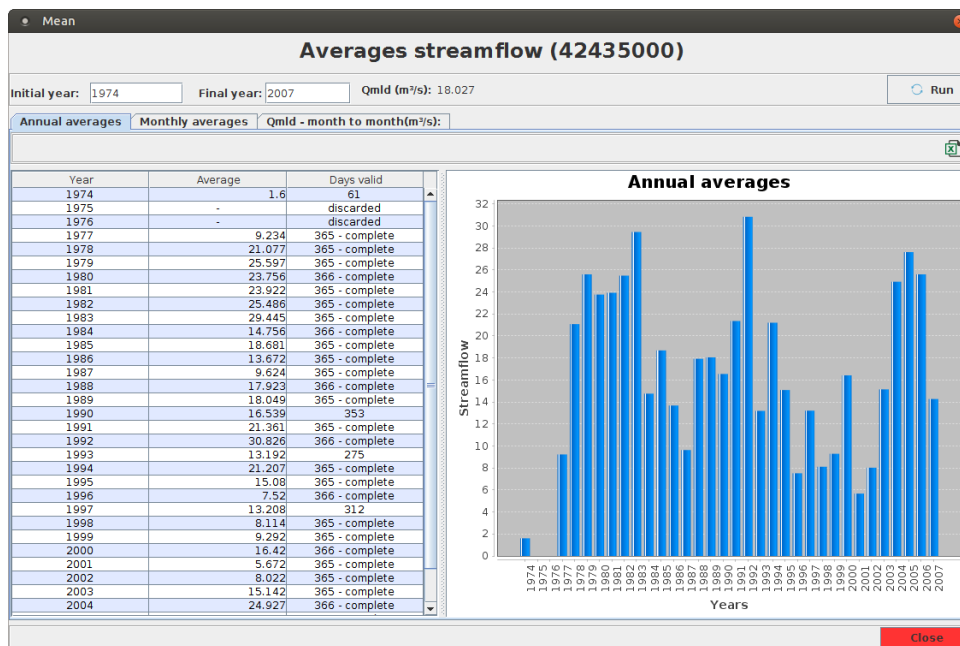


Figura 74: Tela do módulo Vazões médias.

1. **Annual averages:** apresenta a informação por meio de uma tabela e gráfico de barras. Os dados estão discriminados ano a ano com o respectivo valor da média. A coluna *Days valid* representa o número de dias do ano que não possui falhas ou que não fora descartado. O ano 1993, apresenta 90 dias de falhas, portanto como ele não é um ano bissexto os número de dias válidos para o cálculo da média foram 275 dias, perfazendo uma vazão média igual a  $16.539\text{m}^3/\text{s}$ . Caso o usuário decida descartar um mês que não possua falhas o sistema abaterá os dias deste mês no quantitativo de dias válidos deste ano. Portanto a coluna *Average* está diretamente ligada à coluna *Days valid* que por sua vez é sensível ao módulo de descarte de dados.

O *frame* à direita está designado a receber o gráfico (Years x Streamflow  $\text{m}^3/\text{s}$ ) das médias anuais, cujos valores de referência estão na tabela à esquerda. Para cada ano que não estiver descartado, será plotada uma barra com o referido valor médio de vazão. Já os anos que contém algum tipo de falha e não foram descartados, serão apresentados no gráfico normalmente, com seu valor médio calculado.

2. **Monthly averages:** apresenta as médias de cada mês dentro do período base definido. A discriminação dos dados contido nesta tabela é similar à da tabela de médias anuais, tanto na coluna *Average*, quanto na coluna *Days valid* (Figura 75).

3. **Qmld - month to month:** apresenta a informação por meio de uma tabela e gráfico de barras. Os dados estão discriminados mês a mês com o respectivo valor da média de longa duração, desvio padrão, desvio de Fisher e meses válidos (Figura 76). Para o mês de Janeiro, o valor da média de longa duração (coluna *Average*) é a média de

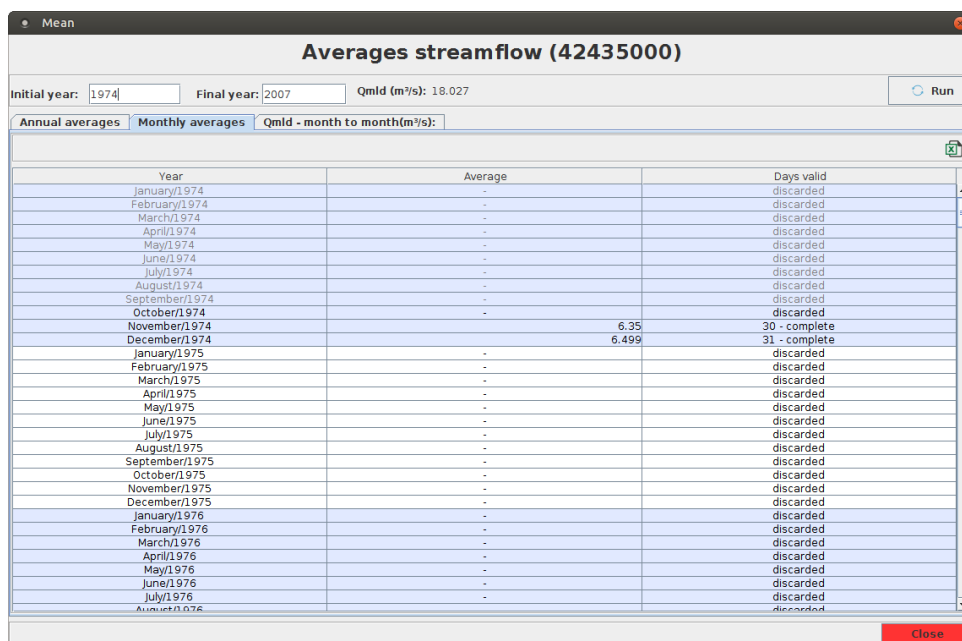


Figura 75: Tela do módulo Vazões médias, aba *Monthly averages*.

todos os meses de Janeiro que não foram descartados, do ano 1974 a 2007. Como a coluna *Months valid* do mês de Janeiro está acusando 31, isso significa dizer que 3 meses de Janeiro foram descartados pelo usuário ao longo do período base estipulado.

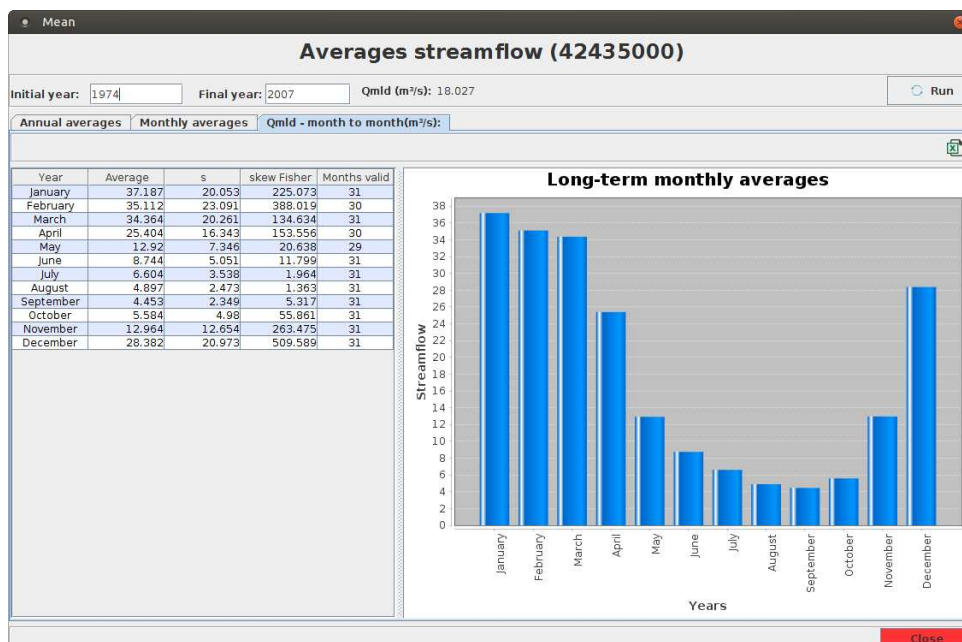


Figura 76: Tela do módulo Vazões médias, aba *Qmld - month to month*.

O *frame* à direita está designado a receber o gráfico (Months x Streamflow  $m^3/s$ ) das médias de longa duração dos meses, cujos valores de referência estão na tabela à esquerda.

#### 5.4.4 Curva de Permanência

O módulo *Permanence* é acionado através da seleção de uma estação fluviométrica seguido do clique no botão "*Permanence*" na tela principal do módulo *Streamflow* (Figura 64). O fluxograma que descreve o seu funcionamento está demonstrado na Figura 77.

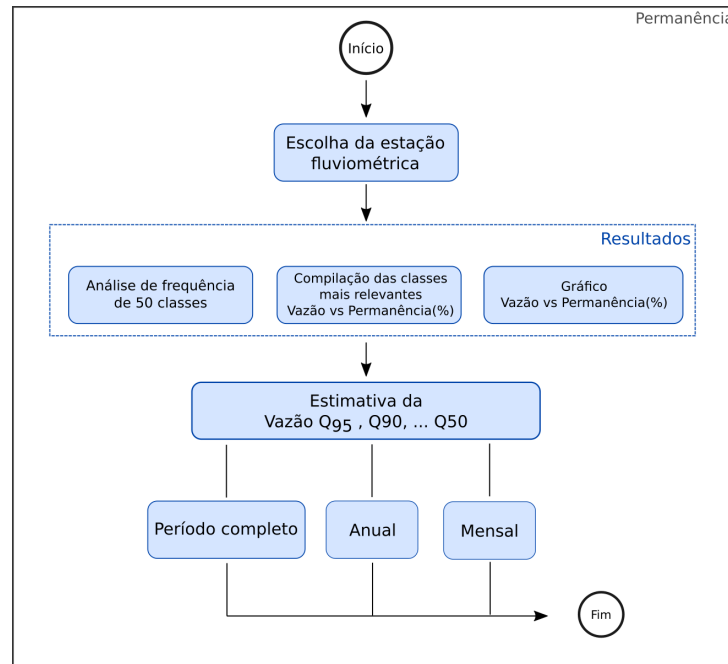


Figura 77: Fluxograma do módulo Curva de Permanência.

Para evitar equívocos ao realizar o estudo, o sistema atualiza o título da tela com o nome da estação fluviométrica escolhida (Figura 78).

Conforme o fluxograma desta tela, a interação entre o sistema e o usuário pode ser resumida à determinação da estação fluviométrica uma vez que o sistema se encarrega de processar os indicadores para análise do usuário. Ao final do processamento o usuário interage novamente, escolhendo as formas de visualização do resultado.

O módulo está subdividido em três guias: a guia *Frequency analysis*, a guia *Streamflow vs Permanence* e a guia *chart*.

A aba *Frequency analysis* exibe as cinquenta classes de intervalos (coluna *Class*), com suas devidas faixas de abrangência (coluna *Band (m<sup>3</sup>/s)*), número de ocorrências (coluna *Num. days*), frequência de ocorrências (coluna *frequency (%)*) e frequência acumulada (coluna *Cumulative frequency (%)*).

Através desta tabela, o usuário tem um panorama geral da distribuição dos registros de vazões diários de uma estação. Por basear-se nos dados diários da série histórica de vazões, estes resultados sofrem alterações, uma vez que o módulo *Discarded data* seja utilizado para descartar alguns dos meses ou anos.

Class	Band (m³/s)	Num. days	Frequency (%)	Cumulative frequency (%)
50	149.166 - 132.051	1	0.010	0.010
49	132.051 - 116.900	3	0.030	0.040
48	116.900 - 103.487	5	0.050	0.091
47	103.487 - 91.613	8	0.081	0.172
46	91.613 - 81.101	25	0.253	0.425
45	81.101 - 71.796	30	0.304	0.730
44	71.796 - 63.558	54	0.547	1.277
43	63.558 - 56.265	61	0.618	1.896
42	56.265 - 49.809	69	0.699	2.595
41	49.809 - 44.094	56	0.567	3.163
40	44.094 - 39.035	55	0.557	3.721
39	39.035 - 34.556	70	0.709	4.431
38	34.556 - 30.591	78	0.790	5.222
37	30.591 - 27.081	78	0.790	6.012
36	27.081 - 23.974	79	0.801	6.814
35	23.974 - 21.223	122	1.237	8.051
34	21.223 - 18.788	139	1.409	9.460
33	18.788 - 16.632	134	1.358	10.819
32	16.632 - 14.724	171	1.733	12.553
31	14.724 - 13.034	176	1.784	14.337
30	13.034 - 11.539	240	2.433	16.771
29	11.539 - 10.215	304	3.082	19.853
28	10.215 - 9.043	293	2.970	22.824
27	9.043 - 8.005	343	3.477	26.302
26	8.005 - 7.086	441	4.471	30.774
25	7.086 - 6.273	521	5.282	36.057
24	6.273 - 5.553	498	5.049	41.107
23	5.553 - 4.916	472	4.786	45.893
22	4.916 - 4.352	537	5.445	51.338
21	4.352 - 3.853	734	7.442	58.781
20	3.853 - 3.411	704	7.138	65.919
19	3.411 - 3.019	597	6.053	71.973
18	3.019 - 2.673	613	6.215	78.189
17	2.673 - 2.366	653	6.621	84.810
16	2.366 - 2.094	345	3.498	88.308

Figura 78: Tela do módulo Curva de Permanência, aba *Frequency analysis*.

Pode-se dizer que a geração da coluna *Cumulative frequency (%)* é o objetivo desta primeira guia *Frequency analysis*, afinal, é mediante ao processamento dela que a aba seguinte, a *Streamflow vs Permanence*, será construída.

A guia *Streamflow vs Permanence* faz uma compilação da frequência acumulada de acordo com alguns percentuais pré-definidos: 95%, 90%, 85%, 80%, 75%, 70%, 65%, 60% e 55%. Este resultado é obtido através da interpolação dos valores limites dos intervalos de classes com seus respectivos valores de frequência acumulada (Figura 79).

Os resultados desta tabela conferem ao usuário a  $Q_{90}$  e, a  $Q_{95}$ , vazões existentes no curso d'água em 90% do tempo e em 95% do tempo, respectivamente.

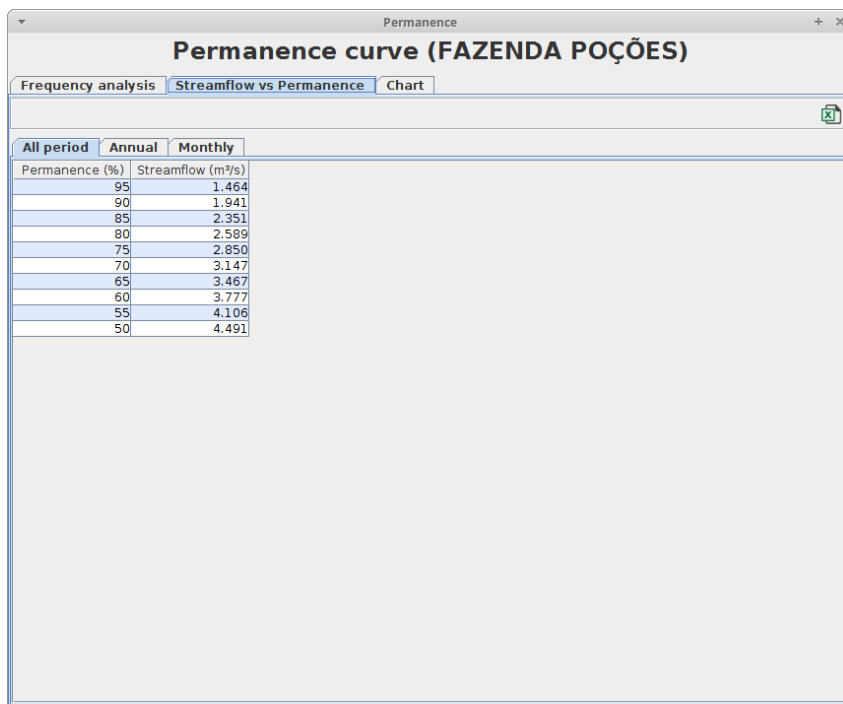


Figura 79: Tela do módulo Curva de Permanência, aba *Streamflow vs Permanence*.

Os resultados da guia *Streamflow vs Permanence* foram calculados e podem ser visualizados de três formas diferentes; na aba *All period*, na aba *Annual* e na aba *Monthly*. A primeira delas é a visualização dos valores de permanência considerando todo o período da estação (Figura 79), neste exemplo o período de 1973 à 2006.

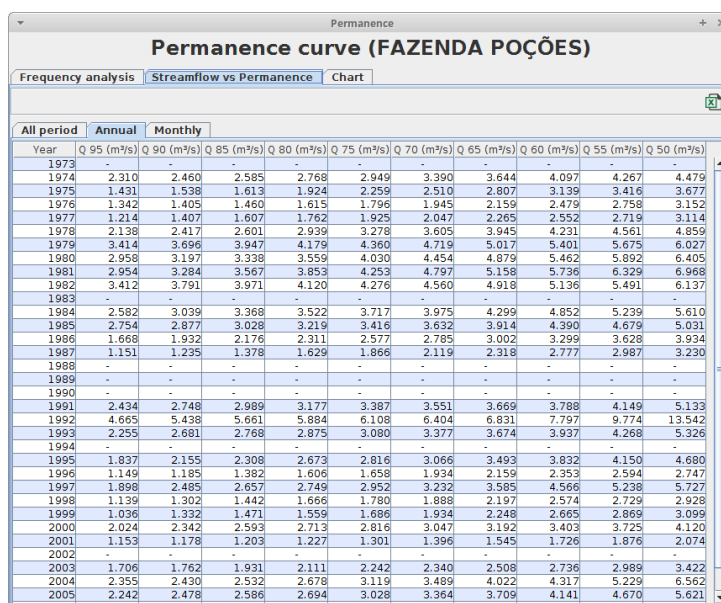


Figura 80: Tela do módulo Curva de Permanência, aba *Streamflow vs Permanence*, subaba *Annual*.

A segunda (Figura 80), apresenta os valores de permanência calculados para cada ano em particular, o que significa estimar um valor de 95%, 90%, 85%, 80%, 75%, 70%,

65%, 60% e 55% para cada ano do período. E a terceira aba (Figura 81), mostra a permanência mês a mês considerando todo os anos (não descartados) da série. A coluna *valid month* indica a quantidade de mês que foi utilizado na obtenção dos valores de vazão de permanência (no exemplo apresentado fora 27). Nesta opção também é possível escolher um ano específico pelo *combobox* acima da *grid* e analisar a permanência mês a mês de um único ano. Cabe ressaltar que todas estas formas de cálculos levam em conta o pre-tratamento recebido pela série.

Month	Valid mo...	Q 95 (m³/s)	Q 90 (m³/s)	Q 85 (m³/s)	Q 80 (m³/s)	Q 75 (m³/s)	Q 70 (m³/s)	Q 65 (m³/s)	Q 60 (m³/s)	Q 55 (m³/s)	Q 50 (m³/s)
January	27	3.502	4.310	5.108	5.794	6.369	7.090	7.621	8.172	8.832	9.937
February	27	3.265	3.933	4.627	5.409	5.945	6.577	7.206	7.998	8.959	9.688
March	27	3.766	4.262	4.679	5.312	6.063	6.638	7.199	7.726	8.361	9.079
April	27	2.900	3.410	3.748	4.310	4.882	5.820	6.530	7.172	7.608	7.926
May	27	2.483	2.803	3.007	3.181	3.544	4.090	4.657	5.076	5.368	5.599
June	27	1.863	2.119	2.376	2.552	2.692	3.133	3.549	3.886	4.034	4.341
July	27	1.492	1.647	1.778	1.992	2.166	2.645	2.988	3.213	3.493	3.705
August	27	1.212	1.362	1.423	1.515	1.672	2.164	2.571	2.667	2.770	2.911
September	27	1.168	1.205	1.301	1.481	1.644	1.966	2.157	2.388	2.489	2.574
October	27	1.200	1.284	1.500	1.699	1.822	1.947	2.075	2.212	2.349	2.487
November	27	1.643	2.121	2.247	2.346	2.438	2.538	2.640	2.955	3.188	3.493
December	27	2.425	2.821	3.272	3.695	4.101	4.526	5.083	5.944	6.804	7.646

Figura 81: Tela do módulo Curva de Permanência, aba *Streamflow vs Permanence*, subaba *Monthly*.

Finalizando este módulo está a guia *Chart*, que exibe a curva de permanência de acordo com as classes geradas a partir da série de vazões diárias considerando todo o período de dados.

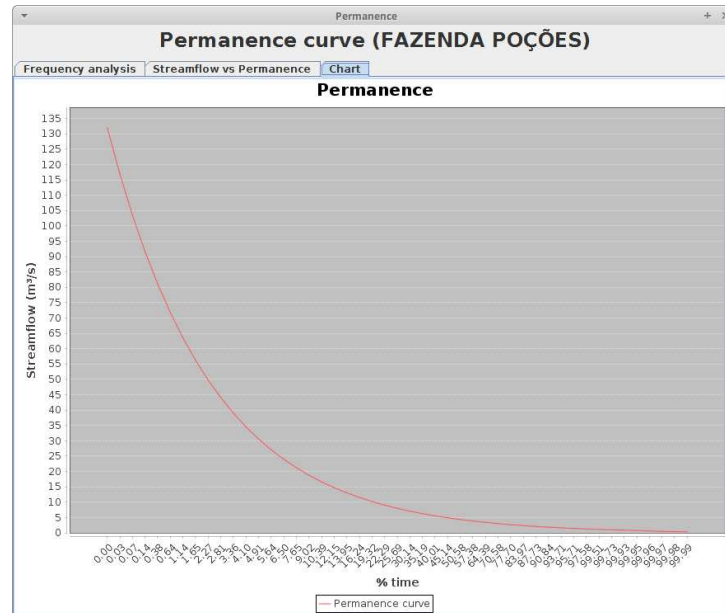


Figura 82: Tela do módulo Curva de Permanência, aba *Chart*.

Com a existência desse módulo de análise da curva de permanência o *Hydrology Plus - software Rainfall* abrange tanto o critério de outorga nacional quanto estadual (Minas Gerais), que balizam seus limites por percentuais da  $Q_{95}$  e  $Q_{7,10}$ , respectivamente.

## 5.5 Ottocodificação

O *software Ottocode* tem por finalidade oferecer ferramentas que possibilitem ao usuário efetuar a metodologia proposta por Otto Pfafstetter em *rasters*. Conforme fluxograma apresentado na Figura 6 este *software* não interage com o sistema *Preliminary Analysis* (Seção 5.2), uma vez que não trabalha com séries históricas de vazões ou precipitações. A entrada de dados deste sistema são os mapas no formato *raster*.

A Figura 84 ilustra a tela principal do sistema *Ottocode* com o projeto *testeOtto* aberto. Este projeto, foi criado apenas para exemplificar as funcionalidades do sistema.

No menu principal, são oferecidas ao usuário duas opções, *Project* e *Tools*. O primeiro oferece as opções referentes ao gerenciamento de projetos: *Project manangement*, *Close project*, *Save*, *Save as* e *Exit*. O funcionamento de cada um destes item segue o mesmo comportamento que o apresentado na Seção 5.2.1 do *software Preliminary Analysis*. Entretanto, o projeto do *software Ottocode* tem apenas o campo *name* visto que neste tipo de projeto não é necessário séries históricas. A Figura 83 exemplifica o comportamento do módulo após clique no botão "New", evidenciando o preenchimento apenas do nome do projeto.

Por fim, a outra opção do menu principal é o *Tools*, que disponibiliza ao usuário as ferramentas necessárias para que o *software Ottocode* atinja seu objetivo.

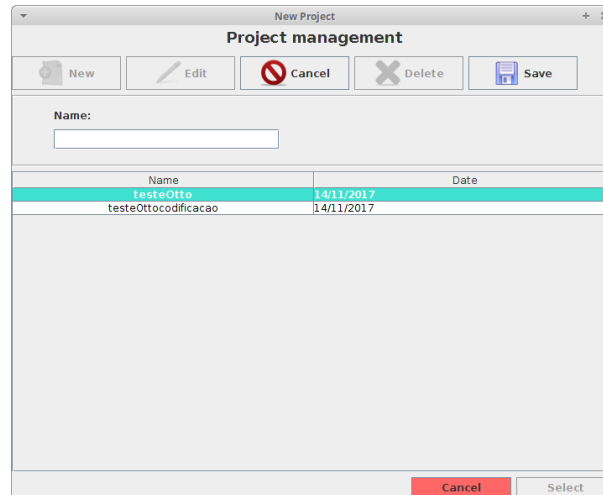


Figura 83: Tela de gerenciamento de projetos do *software Ottocode*.

Assim que o usuário escolhe um projeto para trabalhar e pressiona o botão "Select" (Figura 83), o *software Ottocode* é aberto conforme apresentado na Figura 84. Sua estrutura é subdividida em dois *frames*, o da esquerda, contendo os dados e tabelas, e, o da direita, para a renderização dos mapas.

O quadro da esquerda, possui quatro abas. Inicialmente, apenas está habilitada a aba "Maps (.txt)", que é referente aos dados de entrada para o processamento acontecer. Estes dados são obrigatórios e devem ser inseridos de acordo com a região na qual se deseja aplicar a ottocodificação. Os mapas *rasters* deverão seguir o formato (".txt") definido para a aplicação, caso contrário o sistema não funcionará corretamente.

Para inserir o caminho de cada um dos arquivos o usuário pode clicar duas vezes na coluna "File (.txt)" e linha desejada para que o programa acione o diálogo padrão do sistema operacional para abertura de um arquivo (Figura 84). Para o projeto exibido *TesteOtto*, os arquivos referentes ao MDE e direção de fluxo já foram preenchidos, faltando apenas a escolha do arquivo relativo ao *raster* de fluxo acumulado. Note que o *frame* da direita (Map) está vazio, o que significa que enquanto não forem informado todos os arquivos *rasters* o *load* não poderá ser executado.

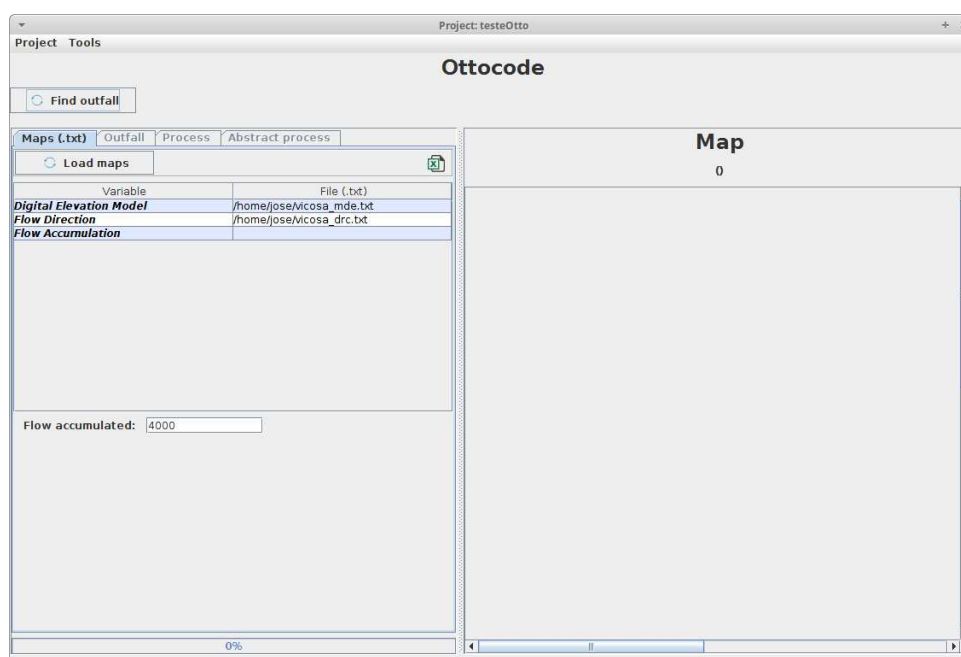


Figura 84: Tela principal do módulo Ottocode com o projeto *testeOtto* aberto.

Depois de ter preenchido o caminho de cada um dos mapas necessários para aplicar a ottocodificação, o usuário deve efetuar o *load* dos mapas, isto é, abrir cada um dos arquivos texto, efetuar a leitura célula a célula e carregá-los para memória principal do computador. Esta funcionalidade está registrada no clique do botão "*Load maps*". Uma vez que os mapas estão no formato correto, e não apresentam erros no carregamento, eles serão visualizados no *frame* da direita que é responsável pela renderização dos mapas. O *raster* apresentado na Figura 86 é o MDE da região estudada, renderizado após o clique na linha da tabela cuja variável é a *Digital Elevation Model*. Caso o usuário queira visualizar os qualquer um dos outros dois mapas, basta seleciona sua linha na *grid* que o sistema renderiza no *frame* da direita. Ao movimentar o mouse sobre o mapa, o sistema exibe a coordenada geográfica referente ao ponto exato em que o mouse se encontra, facilitando o posicionamento e procura por algum ponto da hidrografia.

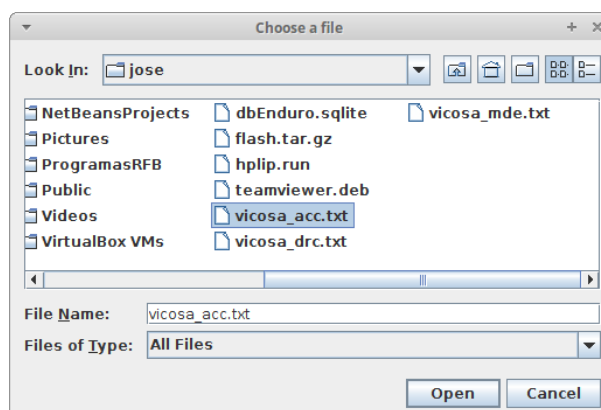


Figura 85: Diálogo para escolha dos mapas nos diretórios do computador.

Abaixo da *grid* está presente o campo "*Flow accumulated*" cujo valor *default* que está preenchido é 4000. Este valor arbitrado pelo usuário representa o valor mínimo para que uma célula do *raster* *Flow accumulated* pertença a hidrografia do terreno. Isso significa que todos *pixels* que possuem valor de acumulação maior igual a 4000 será considerado um ponto pertencente ao rio e será colorido na cor azul como pode ser observado na Figura 87.

Ao renderizar o MDE e definir a hidrografia nota-se que existem mais de uma foz. Isso ocorre porque o mapa, por maior que seja, tem a possibilidade de não se enquadrar perfeitamente na tela a ponto de coincidir toda a hidrografia de uma bacia caiba no *frame*. Assim o renderizador corta a imagem nos pontos de intercessão com a borda da tela. Com isso, cada ponto de intercessão entre mapa e *frame* se torna uma foz.

Por esta razão, antes de iniciar o algoritmo de ottocodificação é necessário pressionar o botão "*Find outfall*" para que o sistema mapeie todos os pontos que configuram como foz. A Figura 87 representa a lista de pontos classificados como foz encontrados.

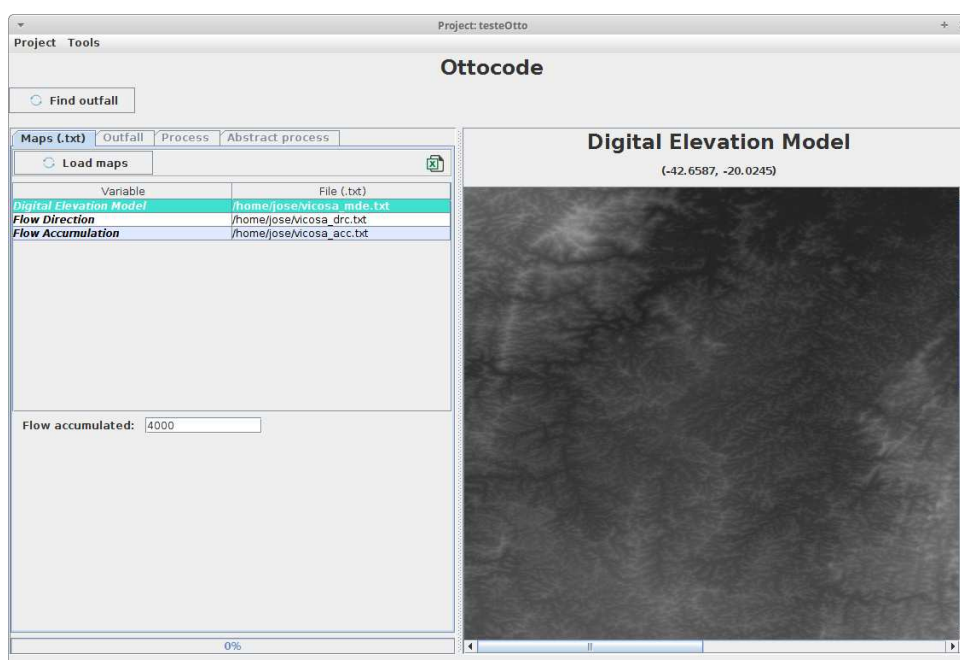


Figura 86: Tela do *software* *Ottocode* renderizando o Modelo Digital de Elevação.

Neste ponto, para efetuar a ottocodificação o usuário deve escolher dentro desta lista um ponto foz e pressionar o botão "*Watershed*", para que o *software* analise cada trecho de rio, definindo o seu comprimento, sua distância à foz, sua área de contribuição, sua área a montante, seu ponto mais a montante, seu ponto mais a jusante e o seu ottocodigo.

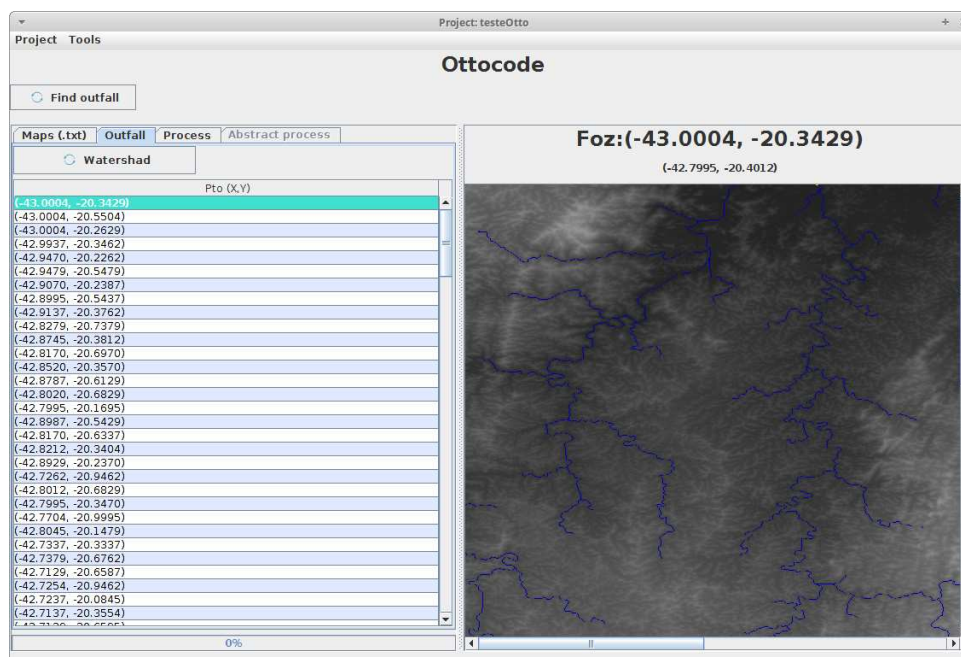


Figura 87: Tela do *software Ottocode* renderizando o Modelo Digital de Elevação.

Pensando no problema estabelecido pela renderização do mapa na tela e nos *rasters* de tamanhos maiores, ao pressionar o botão "*Watershad*" o sistema pergunta ao usuário qual o ottocódigo do nível anterior ao estudado (Figura 88). Esta funcionalidade permite que seja calculada a ottocodificação para mapas tão grandes quanto a memória do computador suportar, para isso basta efetuar a análise por partes (ou completo se o computador suportar). O valor informado de ottocódigo conforme exposto pela Figura 88 será adicionado como prefixo em todos os ottocódigos gerados, assumindo que a análise que está sendo feita pertence a uma análise maior, como este caso a Bacia do Rio Doce.

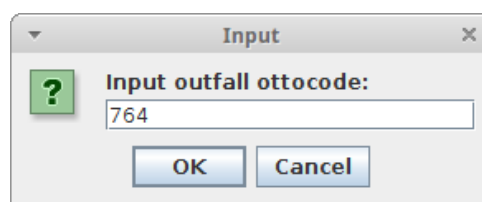


Figura 88: Diálogo para informar ottocódigo do nível anterior ao requerido.

Definido o prefixo dos ottocódigos o *software* aplica a metodologia de obtenção do ottocodificação e os trechos do rio, com seus respectivos códigos, são tabulados na aba "*WaterShaders*" com as seguintes colunas descritivas: *CodOtto*, *Area (Km<sup>2</sup>)* e *Dist outfall (km)* (Figura 89).

Ao selecionar uma linha da *grid*, referente a um trecho do rio, o mapa é atualizado com a renderização dos limites da ottobacia. A cor verde estabelece os limites referentes a área à montante do trecho do rio, e a cor amarela define o contorno da área de contribuição

que afeta somente ao trecho selecionado. A cor amarela, porém num tom mais forte, também é utilizada para demarcar o trecho do rio escolhido, aumentando o entendimento da região analisada. A Figura 89, apresenta o afluente mais próximo da foz (ottocodigo = 7642), pertencente ao conjunto dos quatro maiores afluentes do rio principal, que foi estabelecido pelo usuário como sendo de ottocodigo 764 através da Figura 88.

O ottocodigo recebido foi 7642, sua área total é de  $122,334\text{km}^2$  sendo  $81.712\text{km}^2$  de área de contribuição (cor amarela) e  $40.621$  de área a montante (cor verde). A distância do ponto mais a jusante ( $x = 343, y = 427$ ) deste trecho de rio à foz é de  $63.766\text{km}$

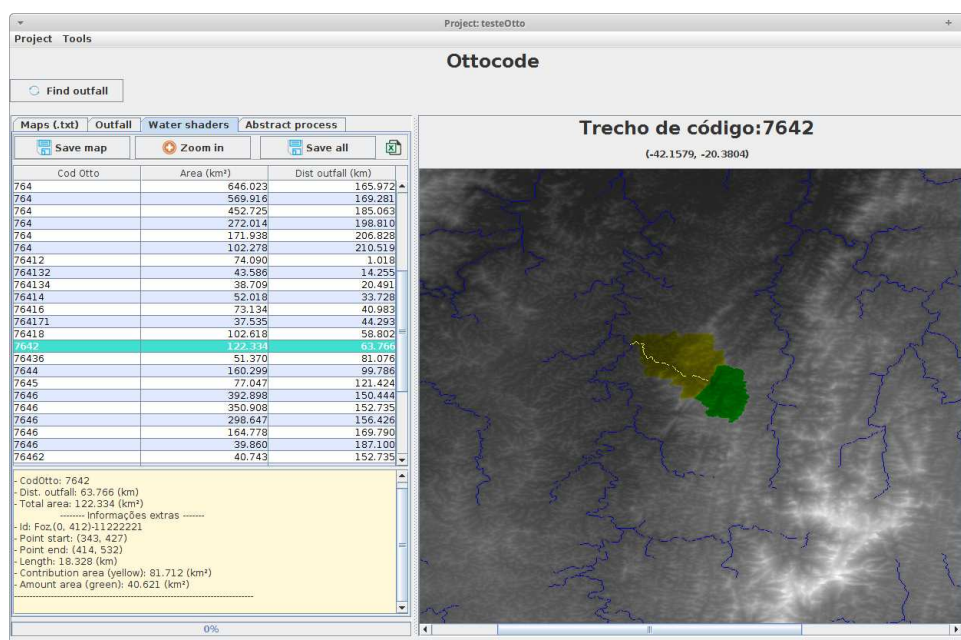


Figura 89: Rederização da ottobacia 7642.

Quando se trabalha com mapas de grande extensão a visualização dos limites da ottobacia podem ficar comprometidos e por esta razão foi desenvolvida a função *Zoom in* vinculada ao clique no botão "*Zoom in*". A ampliação (Figura 90) é feita na ordem de 30 vezes desde que não exceda os limites da tela, evidenciando a área estudada.

Ao lado do botão "*Zoom in*", estão os botões "*Save map*" e "*Save all*", que são responsáveis por salvar o (s) mapas renderizados nos formatos JPG (imagem) e ASCII (txt). O primeiro salva a imagem da ottobacia selecionada, o segundo salva todas as ottobacias num mesmo arquivo JPG e ASCII. A exportação para o formato ASCII é estratégico pois permite que o resultado seja importado por algum SIG (QGis por exemplo) mantendo a compatibilidade dos arquivos.

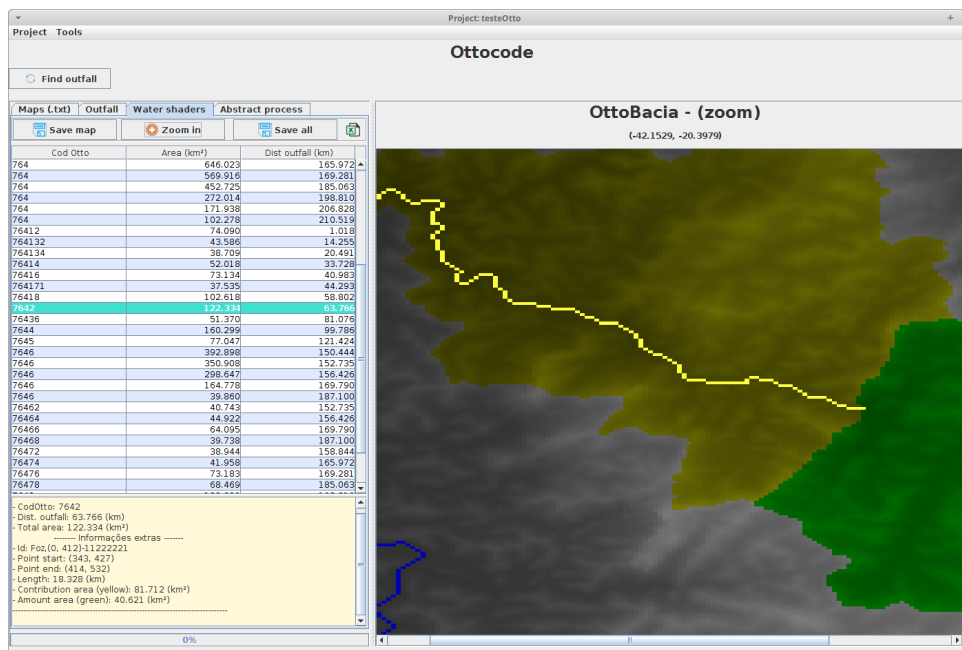


Figura 90: Rederização(Zoom in) da ottobacia 7642.

A última aba é a "Abstract process" contendo resumo, em termos computacionais, do processamento. Esta informação é relevante para entender os possíveis problemas que podem vir a ocorrer quando o sistema estiver trabalhando com mapas muito grandes. O resumo mostra: O número de linhas e colunas do raster aberto, as elevações máximas e mínimas e o tempo de processamento (5.621 s), sendo classificado em tempo gasto para a leitura dos mapas(2.698 s) e tempo que efetivamente o algoritmo de ottocodificação (2.923s) gastou.



Figura 91: Resumo do tempo computacional gasto no projeto *TesteOtto*.

Embora o tempo gasto para efetuar a ottocodificação em *raster* de  $1201 \times 1201$  células ficou na ordem dos 5 segundos, tempo relativamente baixo, não é possível concluir nada para mapas de dimensões maiores, visto que o tempo computacional (tempo de execução de uma tarefa) não possui relação direta com as dimensões dos mapas e sim com a forma e estrutura que o algoritmo foi desenvolvido.

## 6 Conclusão

A plataforma de *softwares* denominada "*Hydrology Plus*", que foi desenvolvida, espera com estes resultados, se caracterizar como ferramenta essencial no tratamento e análise de séries pluviométricas e fluviométricas. Principalmente por ser facilmente executado em nos diferentes sistemas operacionais (Windows, Linux e Mac OS) e trabalhar com múltiplas estações e manterem um banco de dados unificado para a análise dos diferentes tipos series históricas.

Conclui-se também que sua integração com o Hidroweb contribui muito para que os modelos propostos e implementados nos *softwares* se mantenham atualizados com o repositório nacional e funcionando corretamente por longo tempo.

Cada um dos *softwares* que compõe a plataforma *Hydrology Plus*, *Preliminary Analysis*, *Rainfall*, *Streamflow* e *Ottocode*, tem sido utilizados por estudantes e técnicos da área de recursos hídricos e se mostrado uma ferramenta eficiente para a realização de trabalhos e estudos relativos a: ao tratamento prévio e análises de séries históricas de precipitação (máximas e médias) e vazão (máximas, médias e mínimas); Geração de séries sintéticas de precipitação e realizar a ottocodificação nos trechos de rio de uma determinada bacia representada por *raster*.

A plataforma *Hydrology Plus* permite a inclusão/instalação de novos *softwares* no futuro para outros tipos de análises, o que garante sua versatilidade e atualizações necessárias por meio de extensões e novos programas.

## Referências

- AHMAD, I. et al. Precipitation trends over time using mann-kendall and spearman's rho tests in swat river basin, pakistan. *Advances in Meteorology*, Hindawi Publishing Corporation, v. 2015, 2015. Citado na página 7.
- ANA. *Topologia hídrica: método de construção e modelagem da base hidrográfica para suporte à gestão de recursos hídricos: versão 1.11*. Brasília: ANA, SGI,, 2006. 29 p. Citado na página 19.
- ARGE, L. et al. Efficient flow computation on massive grid terrain datasets. *GeoInformatica*, v. 7, n. 4, p. 283–313, Dec 2003. ISSN 1573-7624. Disponível em: <<https://doi.org/10.1023/A:1025526421410>>. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.
- BAENA, L. G. N. et al. Regionalização de vazões com base em modelo digital de elevação para a bacia do rio paraíba do sul. *Engenharia Agrícola*, FapUNIFESP (SciELO), v. 24, n. 3, p. 612–624, dec 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s0100-69162004000300013>>. Citado na página 19.
- BEIJO, L. A.; MUNIZ, J. A.; NETO, P. C. Tempo de retorno das precipitações máximas de lavras (mg) pela distribuição dos valores extremos do tipo i. *Ciência Agrotécnica, Lavras*, v. 29, n. 3, p. 657–667., 2005. Citado na página 8.
- BEIJO, L. A. et al. Estudo da precipitação máxima em jaboticabal (sp) pela distribuição de gumbel utilizando dois métodos de estimação dos parâmetros. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 11, n. 1, p. 141–147, 2003. Citado na página 17.
- BELTRAME, L.; LANNA, A.; LOUZADA, J. *Chuvas intensas*. Porto Alegre: IPH, UFRGS, 1991. 69p. Citado na página 9.
- BERG, M. et al. *Computational Geometry: Algorithms and Applications*. Springer-Verlag, 2000. Disponível em: <<http://www.cs.uu.nl/geobook/>>. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e aplicação. In: \_\_\_\_\_. second. Porto Alegre: ABRH/Editora UFRGS, 2001. cap. Precipitação. P.177-241. Citado na página 9.
- BIANCHI, R. C. et al. Estimativa da vazão máxima da bacia hidrográfica do rio canguiri através do método de ven te chow. *Raega - O Espaço Geográfico em Análise*, v. 25, 2012. Citado na página 16.
- BOF, L. H. N. et al. Analysis of appropriate timescales for water diversion permits in brazil. In: *Environmental management*. [S.l.: s.n.], 2013. v. 51, n. 2, p. 492–500. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 17.
- BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília: Senado Federal, Centro Gráfico., 1988. Citado na página 5.

- BRASIL. *Política e Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos: Lei Federal No. 9433, de 8 de janeiro de 1997*. São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1997. Citado na página 5.
- CARVALHO, A. L. et al. Ocorrência de períodos secos na região de rio largo, alagoas. *Revista Brasileira de agrometeorologia*, v. 28, n. 2, p. p.173–180., 2013. Citado 3 vezes nas páginas 8, 9 e 17.
- CASTELLVI, F.; STOCKLE, C.; IBÁÑEZ, M. Comparing a locally calibrated versus a generalized temperature generation process. *Transactions of the ASAE*, American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 44, n. 5, p. 1143, 2001. Citado na página 10.
- CHAKRAVARTI, I.; LAHA, J. R. R. *Handbook of Methods of Applied Statistics*. New York: John Wiley and Sons, 1967. Citado na página 7.
- CHAVES, M. A. *Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a bacia Amazônica*. Tese (Doutorado) — Doutorado em Ciências Florestais, Universidade Federal de Viçosa., Viçosa, MG., 2002. 115 f. Citado na página 24.
- CHIANG, S. M.; TSAY, T. K.; NIX, S. J. Hydrologic regionalization of watersheds. ii: Applications. *Journal of water resources planning and management*, v. 128, n. 1, p. p.12–20., 2002. Citado na página 6.
- CHIBANA, E. Y. et al. Estimativa de falhas em dados meteorológicos. In: SBI-AGRO, A. (Ed.). *Congresso Brasileiro de Agroinformática*. [S.l.]: CD-Rom., 2005. v. 9. Citado na página 9.
- CIRILO, J. A. et al. Processamento integrado de dados para análise hidrológica. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 2, n. 1, p. 15–28., 1997. Citado na página 25.
- CRUZ, J. C. *Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais*. Tese (Doutorado) — Doutorado em Engenharia, Universidade do Rio Grande do Sul., Porto Alegre, RS, 2001. 189 p. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 17.
- CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Otimização e simulação comparativa de cenários de outorga. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 10, n. 3, 2005. Citado na página 14.
- DAEE. *SIGRH – Sistema integrado de gerenciamento de recursos hídricos de São Paulo*. São Paulo, SP: Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) e Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento., 2004. Citado na página 25.
- EUCLYDES, H. P. *Regionalização de vazões máximas e mínimas para a bacia do rio Juatuba-MG*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Viçosa., Viçosa, MG., 1992. Citado na página 17.
- FELGUEIRAS, C. A. Modelagem numérica de terreno. In: CÂMARA C. DAVIS, A. M. V. M. I. G. (Ed.). *Introdução à Ciência da Geoinformação*. [S.l.]: INPE, 2001. v. 1. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.

FERREIRA, J. C.; DANIEL, L. A.; TOMAZELA, M. Parâmetros para equações mensais de estimativas de precipitação de intensidade máxima para o estado de são paulo: fase i. *Ciência e Agrotecnologia*, FapUNIFESP (SciELO), v. 29, n. 6, p. 1175–1187, dec 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1413-70542005000600011>>. Citado na página 18.

FILHO, F. S.; CAMPOS, J. N. B. A outorga como instrumento de gestão: estudo de caso. In: ABRH (Ed.). *SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE*, Salvador - BA: [s.n.], 1996. v. 3, p. 327–333. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 17.

FILHO, J. V. *Modelo computacional para simulação de dados climáticos*. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu - SP, 1997. 86p. Citado na página 12.

FILHO, J. V.; LANNA, A. O paradigma da modelagem orientada a objetos aplicada a sistemas de recursos hídricos (ii) modelo de objetos aplicado ao planejamento de uso da água propagar moo. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 8, n. 3, p. 91–103., 2003. Porto Alegre. Citado na página 25.

FISTAROL, O.; FRANK, B.; REFOSCO, J. C. Sistema de informações de recursos hídricos da bacia do itajaí. In: *COBRAC - Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário*. In: Florianópolis: UFSC: CD-Rom., 2004. Citado na página 24.

GAINES, J. M. Flooding: Water potential. , v. 531, p. S54, mar. 2016. Citado na página 8.

GOSWAMI, M.; O'CONNOR, K.; BHATTARAI, K. Development of regionalisation procedures using a multi-model approach for flow simulation in an ungauged catchment. *Journal of Hydrology*, Elsevier, v. 333, n. 2, p. 517–531, 2007. Citado na página 6.

GRIEBELER, N. P. et al. Avaliação de um modelo para a estimativa da lâmina máxima de escoamento superficial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, FapUNIFESP (SciELO), v. 25, n. 2, p. 411–417, jun 2001. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s0100-06832001000200017>>. Citado na página 14.

HAVERKORT, H. J.; JANSSEN, J. Simple i/o-efficient flow accumulation on grid terrains. *CoRR*, abs/1211.1857, 2012. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1211.1857>>. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 23.

HONG, X. D.; SETH, W.; MICHAEL, L. A global-scale investigation of trends in annual maximum streamflow. *Journal of Hydrology*, v. 552, n. Supplement C, p. 28 – 43, 2017. ISSN 0022-1694. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169417304171>>. Citado na página 16.

IGWE, O. et al. The analysis of rainfall-induced slope failures at iva valley area of enugu state, nigeria. *Environmental Earth Sciences*, v. 71, n. 5, p. 2465–2480, Mar 2014. ISSN 1866-6299. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12665-013-2647-x>>. Citado na página 8.

JANTSCHI, L.; BOLBOACA, S. D. *Distribution Fitting 2. Pearson-Fisher, Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling, Wilks-Shapiro, Cramer-von-Misses and Jarque-Bera statistics*. 2009. Citado na página 7.

- JAVEED, Y.; APOORVA, K. Flow regionalization under limited data availability – application of ihacres in the western ghats. *Aquatic Procedia*, v. 4, p. 933 – 941, 2015. ISSN 2214-241X. INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER RESOURCES, COASTAL AND OCEAN ENGINEERING (ICWRCOE'15). Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214241X15001182>>. Citado na página 6.
- JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *photogrammetric engineering and remote. Sensing*, v. 54, p. 1593–1600, 1988. Citado na página 21.
- JOHNSON, G. L. et al. Stochastic weather simulation: Overview and analysis of two commonly used models. *Journal of Applied Meteorology*, v. 35, n. 10, p. 1878–1896, 1996. Citado 3 vezes nas páginas 10, 11 e 12.
- JOSEPH, J. F.; FALCON, H. E.; SHARIF, H. O. Hydrologic trends and correlations in south texas river basins: 1950–2009. *Journal of Hydrologic Engineering*, American Society of Civil Engineers, v. 18, n. 12, p. 1653–1662, 2012. Citado na página 7.
- KENDALL, M. G. Rank correlation methods. Griffin, 1948. Citado na página 7.
- KITE, G. W. *Frequency and risk analyses in hydrology*. fifth. Colorado: Water Resources Publications Highlands Ranch, 1988. 257p. Citado 5 vezes nas páginas 17, 45, 46, 47 e 48.
- KOLMOGOROV, A. Confidence limits for an unknown distribution function. *Ann. Math. Statist.*, The Institute of Mathematical Statistics, v. 12, n. 4, p. 461–463, 12 1941. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1214/aoms/1177731684>>. Citado na página 7.
- KOU, X. et al. Validation of the weather generator cligen with daily precipitation data from the loess plateau, china. *Journal of Hydrology*, v. 347, n. 3, p. 347 – 357, 2007. ISSN 0022-1694. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169407005203>>. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 11.
- KRON, W. Flood risk = hazard • values • vulnerability. *Water International*, Informa UK Limited, v. 30, n. 1, p. 58–68, mar 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/02508060508691837>>. Citado na página 16.
- KRUGER, C.; KAVISKI, E.; MULLER, I. Análise de estacionariedade de séries hidrológicas na bacia incremental de itaipu. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, v. 3, n. 4, p. 51–71, 1998. Disponível em: <<https://doi.org/10.21168/rbrh.v3n4.p51-71>>. Citado na página 6.
- KUNDZEWICZ, Z. W. et al. Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal*, Informa UK Limited, v. 59, n. 1, p. 1–28, dec 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/02626667.2013.857411>>. Citado na página 16.
- LEHMANN, E. L. *Nonparametrics: Statistical Methods Based on Ranks*. first. [S.l.]: Springer-Verlag New York, 1975. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 7.

- MAGALHAES, S. V. G. et al. A new method for computing the drainage network based on raising the level of an ocean surrounding the terrain. In: \_\_\_\_\_. *Bridging the Geographic Information Sciences: International AGILE'2012 Conference, Avignon (France), April, 24-27, 2012*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012. p. 391–407. ISBN 978-3-642-29063-3. Disponível em: <[https://doi.org/10.1007/978-3-642-29063-3\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-642-29063-3_21)>. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 23.
- MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, JSTOR, p. 245–259, 1945. Citado na página 7.
- MCCOMBIE, P. F.; PENMAN, J. The production of interactive engineering design software using borland delphi. *Advances in Engineering Software*, v. 32, n. 10, p. 789 – 796, 2001. ISSN 0965-9978. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965997801000308>>. Citado na página 25.
- MELESSE, A. et al. Low and high flow analyses and wavelet application for characterization of the blue Nile river system. *Hydrological Processes*, Wiley-Blackwell, p. n/a–n/a, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/hyp.7312>>. Citado na página 7.
- MELLO, C. d.; SILVA, A. d. Métodos estimadores dos parâmetros da distribuição de gumbel e sua influência em estudos hidrológicos de projeto. *Irriga*, v. 10, n. 4, p. 318–334, 2005. Citado na página 18.
- MELLO, C. R.; SILVA, A. M. *Hidrologia: Princípios e aplicações em sistemas agrícolas*. [S.l.]: Editora UFLA, 2013. Citado na página 8.
- MENEZES, J. P. C. et al. Morfometria e evolução do uso do solo e da vazão de máxima em uma micro bacia urbana. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 15, n. 5, 2014. ISSN 1519-1540. Citado na página 16.
- METZ, M.; MITASOVA, H.; HARMON, R. S. Efficient extraction of drainage networks from massive, radar-based elevation models with least cost path search. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 15, n. 2, p. 667–678, 2011. Disponível em: <<https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/15/667/2011/>>. Citado 3 vezes nas páginas 19, 21 e 23.
- MEYER, C. R.; RENSCHLER, C. S.; VINING, R. C. Implementing quality control on a random number stream to improve a stochastic weather generator. *Hydrological Processes*, Wiley-Blackwell, v. 22, n. 8, p. 1069–1079, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/hyp.6668>>. Citado na página 10.
- MILLS, E. Insurance in a climate of change. *Science*, American Association for the Advancement of Science (AAAS), v. 309, n. 5737, p. 1040–1044, aug 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1126/science.1112121>>. Citado na página 16.
- MOREIRA, M. *Sistema integrado para a gestão de recursos hídricos*. Viçosa, MG: UFV, 2005. Citado 3 vezes nas páginas 5, 14 e 17.
- MOREIRA, M. C.; SILVA, B. M. B. da; SILVA, D. D. da. Influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga de uso da água: estudo de caso da bacia do rio paraopeba. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, Instituto

de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi), v. 10, n. 3, jul 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1587>>. Citado na página 14.

NETO, J. O. M. *Análise de Sensibilidade Escalar do Modelo Hidrológico SWAT*. Dissertação (Mestrado) — Mestrado em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Lavras., Lavras, MG., 2012. Citado na página 8.

NOVAES, L. F. et al. Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica: Parte 2 - análise do comportamento do modelo para a estimativa da q7, 10 na bacia do paracatu. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 14, n. 1, p. 27–39., 2009. Citado na página 15.

NUNES, A. A.; PRUSKI, F. Improving the determination of reservoir capacities for drought control. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, v. 1, n. 29, p. 183–191., jan 2015. Citado na página 17.

O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, v. 28, p. 323–344, 1984. Citado na página 21.

OLIVEIRA, J. R.; PRUSKI, F. F.; NUNES, A. A. Otimização do aproveitamento da disponibilidade de Águas superficiais na bacia do ribeirão entre ribeiros. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 18, n. 4, p. 157–175., 2013. Citado 3 vezes nas páginas 5, 8 e 17.

OLIVEIRA, L. F. C. de et al. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, FapUNIFESP (SciELO), v. 14, n. 11, p. 1186–1192, nov 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1415-43662010001100008>>. Citado na página 9.

OLIVEIRA, V. de P. S. de; ZANETTI, S. S.; PRUSKI, F. F. CLIMABR parte i: modelo para a geração de séries sintéticas de precipitação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, FapUNIFESP (SciELO), v. 9, n. 3, p. 348–355, sep 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1415-43662005000300009>>. Citado 5 vezes nas páginas 10, 12, 13, 25 e 37.

OLIVEIRA, V. de P. S. de; ZANETTI, S. S.; PRUSKI, F. F. CLIMABR parte II: geração do perfil de precipitação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, FapUNIFESP (SciELO), v. 9, n. 3, p. 356–363, sep 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1415-43662005000300010>>. Citado 5 vezes nas páginas 10, 12, 13, 25 e 37.

PEDUZZI, P. et al. Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the disaster risk index. *Natural Hazards and Earth System Science*, Copernicus GmbH, v. 9, n. 4, p. 1149–1159, jul 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/nhess-9-1149-2009>>. Citado na página 16.

PEREIRA, S. B. *Evaporação no lago de sobradinho e disponibilidade hídrica no rio São Francisco*. Tese (Doutorado) — Departamento em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa., Viçosa, MG., 2004. Citado 4 vezes nas páginas 6, 8, 14 e 15.

- PICKERING, N. B. et al. WeatherMan: A utility for managing and generating daily weather data. *Agronomy Journal*, American Society of Agronomy, v. 86, n. 2, p. 332, 1994. Disponível em: <<https://doi.org/10.2134/agronj1994.00021962008600020023x>>. Citado na página 12.
- PINTO, É. de A.; NAGHETTINI, M. *Hidrologia Estatística*. CPRM, 2007. ISBN 9788574990231. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=CTCpOgAACAAJ>>. Citado 4 vezes nas páginas 6, 7, 17 e 31.
- POST, D.; JONES, J.; GRANT, G. An improved methodology for predicting the daily hydrologic response of ungauged catchments. *Environmental modelling & software*, Elsevier, v. 13, n. 3, p. 395–403, 1998. Citado na página 6.
- PRUSKI, F. F. et al. Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração, na bacia do são francisco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 8, n. 2/3, p. p.247–253., 2004. Citado na página 15.
- PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; KOEZ, M. *Estudo da Vazão em Cursos d'Água*. UFV Viçosa - MG: Editora UFV, 2006. (Engenharia na Agricultura. Caderno didático: 43 AEA/UFV). 151 p. Citado 6 vezes nas páginas 8, 9, 14, 15, 16 e 43.
- RIBEIRO, C. A. A. S. et al. O desafio da delimitação de áreas de preservação permanente. *Revista Árvore*, FapUNIFESP (SciELO), v. 29, n. 2, p. 203–212, apr 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s0100-67622005000200004>>. Citado na página 18.
- RIBEIRO, M. M. R. *Alternativas para outorga e a cobrança pelo uso da água: simulação de um caso*. Tese (Doutorado) — Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade do Rio Grande do Sul., Porto Alegre, RS., 2000. Citado na página 14.
- RICHARDSON, C. W. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation. *Water resources research*, Wiley Online Library, v. 17, n. 1, p. 182–190, 1981. Citado na página 10.
- RODRIGUES, N. C. *Modelagem da disponibilidade hídrica natural na bacia do rio Paracatu em cenário de mudanças climáticas*. Dissertação (Mestrado) — Departamento em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa., Viçosa, MG., 2013. Citado na página 5.
- RODRIGUES, N. C. *Dimensionamento da capacidade de reservatórios de regularização de vazões utilizando séries sintéticas*. Tese (Doutorado) — Departamento em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa., Viçosa, MG., 2017. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.
- ROSIM, S. A. M. et al. Terrahidro: Uma plataforma computacional para o desenvolvimento de aplicativos para análise integrada de recursos hídricos. In: *XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*. Belo Horizonte, MG: [s.n.], 2003. p. 2589–2596. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.
- SANCHES, F. D. O.; VERDUM, R.; FISCH, G. Trend analysis of long-term rainfall. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi), v. 8, n. 3, dec 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1168>>. Citado na página 7.

- SCHEELE, D.; ELLIOT, W.; HALL, D. Enhancements to the cligen weather generator for mountainous or custom applications. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. *Soil Erosion*. [S.l.], 2001. p. 392. Citado na página 12.
- SENTELHAS, P. C.; FARIA, R. T. d.; CHAVES, M. O. Avaliação do desempenho dos geradores de dados climáticos do dssat v.3.5.: I- comparação entre dados observados e gerados. In: EPAGRI (Ed.). *Programa e resumo dos anais*. Florianópolis: [s.n.], 1999. Citado na página 12.
- SERINALDI, F.; KILSBY, C. G. A modular class of multisite monthly rainfall generators for water resource management and impact studies. *Journal of Hydrology*, v. 464, p. 528 – 540, 2012. ISSN 0022-1694. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169412006609>>. Citado na página 13.
- SHAO, W. et al. Quantification of the influence of preferential flow on slope stability using a numerical modelling approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 19, n. 5, p. 2197–2212, 2015. Disponível em: <<https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/19/2197/2015/>>. Citado na página 8.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, JSTOR, v. 52, n. 3/4, p. 591–611, 1965. Citado na página 7.
- SILVA, A. M. da et al. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do alto rio grande, minas gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, FapUNIFESP (SciELO), v. 10, n. 2, p. 374–380, jun 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1415-43662006000200019>>. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 17.
- SILVA, D. D. et al. Equações de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para o estado de tocantins. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, n. 1-4, p. p.7–14., 2003. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 17.
- SILVA, N. S. et al. Sistema de otto-codificação modificado para endereçamento de redes hidrográficas. *Revista Árvore*, FapUNIFESP (SciELO), v. 32, n. 5, p. 891–897, oct 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s0100-67622008000500014>>. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.
- SILVEIRA, G. L. et al. Outorga para uso dos recursos hídricos: aspectos práticos e conceituais para o estabelecimento de um sistema informatizado. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 3, n. 3, p. p.5–16., 1998. Citado na página 14.
- SIVAKUMAR, B. et al. A chaotic approach to rainfall disaggregation. *Water resources research*, Wiley Online Library, v. 37, n. 1, p. 61–72, 2001. Citado na página 17.
- SMIRNOV, N. Table for estimating the goodness of fit of empirical distributions. *Ann. Math. Statist.*, The Institute of Mathematical Statistics, v. 19, n. 2, p. 279–281, 06 1948. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1214/aoms/1177730256>>. Citado na página 7.
- SOUSA, H. T. *Sistema computacional para regionalização de vazões - SisCoRV 1.0*. Brasília, DF: ANA; Viçosa, Minas Gerais, UFV., 2013. Citado na página 5.

- SOUSA, H. T. et al. *Sistema Computacional para Análises Hidrológicas – SisCAH 1.0*. Brasília, DF: ANA; Viçosa, Minas Gerais, UFV., 2009. Citado 3 vezes nas páginas 5, 17 e 24.
- STRECK, N. A. et al. Associação da variabilidade da precipitação pluvial em santa maria com a oscilação decadal do pacífico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, FapUNIFESP (SciELO), v. 44, n. 12, p. 1553–1561, dec 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s0100-204x2009001200001>>. Citado na página 9.
- TARBOTON, D. G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research*, v. 33, p. 309–319, 1997. Citado 3 vezes nas páginas 19, 21 e 23.
- TONELLO, K. C. et al. Morfometria da bacia hidrografica da cachoeira das pombas, guanhães - MG. *Revista Árvore*, FapUNIFESP (SciELO), v. 30, n. 5, p. 849–857, oct 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s0100-67622006000500019>>. Citado na página 19.
- TUCCI, C. E. M. *Regionalização de vazões*. Porto Alegre: UFRGS: Editora da Universidade/UFRGS, 2002. 256p. Citado 3 vezes nas páginas 7, 15 e 34.
- ULIANA, E. M. et al. Análise de tendência em séries históricas de vazão e precipitação: uso de teste estatístico não paramétrico. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi), v. 10, n. 1, jan 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1427>>. Citado na página 6.
- VERDIN, K.; VERDIN, J. A topological system for delineation and codification of the earth's river basins. *Journal of Hydrology*, v. 218, n. 1, p. 1 – 12, 1999. ISSN 0022-1694. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169499000116>>. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.
- WALLIS, T. W.; GRIFFITHS, J. F. An assessment of the weather generator (wxgen) used in the erosion/productivity impact calculator (epic). *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 73, n. 1, p. 115 – 133, 1995. ISSN 0168-1923. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/016819239402172G>>. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 12.
- WANG, W.; GELDER, P.; VRIJLING, J. Trend and stationarity analysis for streamflow processes of rivers in western europe in the 20th century. 08 2017. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 7.
- WASKO, C.; SHARMA, A. Steeper temporal distribution of rain intensity at higher temperatures within australian storms. *Nature Geoscience*, Springer Nature, v. 8, n. 7, p. 527–529, jun 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/ngeo2456>>. Citado na página 9.
- WEI, W.; CHANG, Y.; DAI, Z. Streamflow changes of the changjiang (yangtze) river in the recent 60 years: Impacts of the east asian summer monsoon, enso, and human activities. *Quaternary International*, v. 336, p. 98 – 107, 2014. ISSN 1040-6182. Large Asian Rivers VII. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040618213008525>>. Citado na página 6.

- WESTRA, S. et al. Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall. *Reviews of Geophysics*, v. 52, n. 3, p. 522–555, 2014. ISSN 1944-9208. 2014RG000464. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/2014RG000464>>. Citado na página 9.
- WILKS, D. Simultaneous stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation at multiple sites in complex terrain. *Agricultural and Forest meteorology*, Elsevier, v. 96, n. 1, p. 85–101, 1999. Citado na página 10.
- WURBS, R. A. Modeling river/reservoir system management, water allocation, and supply reliability. *Journal of Hydrology*, v. 300, n. 1, p. p.100–113., 2005. Citado na página 6.
- WWAP-UNESCO. *Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento de Recursos Hídricos – Água para um mundo sustentável*. Colombella, Perugia, Itália., 2015. Citado na página 1.
- YU, B. Improvement and evaluation of cligen for storm generation. *Transactions of the ASAE*, American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 43, n. 2, p. 301, 2000. Citado na página 11.
- YUE, S.; PILON, P.; CAVADIAS, G. Power of the mann–kendall and spearman’s rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, v. 259, n. 1, p. 254 – 271, 2002. ISSN 0022-1694. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169401005947>>. Citado na página 7.
- ZANETTI, S. S.; OLIVEIRA, V. de P. S. de; PRUSKI, F. F. Validação do modelo ClimaBR em relação ao número de dias chuvosos e à precipitação total diária. *Engenharia Agrícola*, FapUNIFESP (SciELO), v. 26, n. 1, p. 96–102, apr 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s0100-69162006000100011>>. Citado na página 13.
- ZANETTI, S. S. et al. Programa computacional para geração de séries sintéticas de precipitação. *Engenharia Agrícola*, FapUNIFESP (SciELO), v. 25, n. 1, p. 96–104, apr 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s0100-69162005000100011>>. Citado 3 vezes nas páginas 10, 13 e 25.
- ZHANG, X.; GARBRECHT, J. D. Evaluation of cligen precipitation parameters and their implication on wepp runoff and erosion prediction. *Transactions of the ASAE*, American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 46, n. 2, p. 311, 2003. Citado na página 11.
- ZHANG, Y. et al. Evaluation of cligen for storm generation on the semiarid loess plateau in china. *Catena*, v. 73, n. 1, p. 1–9, 2008. Citado na página 11.