UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ELABORAÇÃO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL DE USO LIVRE PARA SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA EM AMBIENTE LÓTICO - QUALI-TOOL

ARIEL ALI BENTO MAGALHÃES

UBERLÂNDIA, 02 DE JUNHO DE 2017

FECIV

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Ariel Ali Bento Magalhães

ELABORAÇÃO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL DE USO LIVRE PARA SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA EM AMBIENTE LÓTICO - QUALI-TOOL

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Marcio Ricardo Salla

Co-orientador: Prof. Dr. José Eduardo Alamy Filho

UBERLÂNDIA, 02 DE JUNHO DE 2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

M188e
2017

Magalhães, Ariel Ali Bento, 1991-
Elaboração de uma ferramenta computacional de uso livre para simulação da qualidade de água em ambiente lótico QUALI-TOOL / Ariel Ali Bento Magalhães. - 2017.
179 f. : il.

Orientador: Márcio Ricardo Salla.
Coorientador: José Eduardo Alamy Filho.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Inclui bibliografia.

1. Engenharia civil - Teses. 2. Recursos hídricos - Desenvolvimento. - Teses. 3. Linguagem de programação (Computadores) - Teses. 4. Água - Controle de qualidade. - Teses. I. Salla, Márcio ricardo. II. Alamy Filho, José Eduardo. III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

CDU: 624

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGEC

ATA Nº: 182/2017

CANDIDATO: Ariel Ali Bento Magalhães **Nº. Matrícula:** 11422ECV003

ORIENTADOR: Prof. Dr. Marcio Ricardo Salla

TÍTULO: "Elaboração de uma ferramenta computacional de uso livre para simulação da água em ambiente lótico – QUALI-TOOL"

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Engenharia Urbana, Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

LINHA DE PESQUISA: Recursos Hídricos e Saneamento

PROJETO DE PESQUISA: Estudos de Aproveitamento Hídrico e Autodepuração em Bacias Hidrográficas nas Unidades de Planejamento de Gestão em Recursos Hídricos dos Rios Paranaíba e Grande (Lado Mineiro)

DATA DA DEFESA: 02 de junho de 2017

LOCAL: Sala de Projeções Prof. Celso Franco de Gouvêa, bloco 1Y.

HORÁRIO INÍCIO/TÉRMINO: 09:30/ 11:20h

Reuniu-se na **Sala de Projeções Prof. Celso Franco de Gouvêa, bloco 1Y - Campus Santa Mônica** da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do PPGEC, assim composta: Professores Doutores: **Sueli Moura Bertolino – ICIAG/UFU; Maria do Carmo Martins Sobral – CTG/UFPE e Marcio Ricardo Salla** orientador da candidata. Ressalta-se que a **Prof.ª Dr.ª Maria do Carmo Martins Sobral** participou da defesa por meio de vídeo conferência desde a cidade de Recife/PE e os demais membros da banca e o aluno participaram in loco.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa **Prof. Dr. Marcio Ricardo Salla** apresentou a Comissão Examinadora e concedeu à discente a palavra para a exposição do trabalho. A seguir, o senhor presidente concedeu a palavra aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, a Banca, em sessão secreta, atribuiu os conceitos finais. Em face do resultado obtido, a Banca Examinadora considerou a candidata aprovada. Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico é parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre. O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU. Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos e foi lavrada a presente ata que após lida e aprovada foi assinada pela Banca Examinadora.

Professor Orientador: **Prof. Dr. Marcio Ricardo Salla – FECIV/UFU**

Membro externo: **Prof.ª Dr.ª Maria do Carmo Martins Sobral – CTG/UFPE**

Membro interno: **Prof.ª Dr.ª Sueli Moura Bertolino – ICIAG/UFU**

Uberlândia, 02 de junho de 2017.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Marcio Ricardo Salla por sempre pregar boas idéias, pelo apoio, paciência e compreensão. Ao professor José Eduardo Alamy, por todos os ensinamentos e auxílio em toda essa jornada.

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG pelo apoio financeiro para o desenvolvimento do projeto de pesquisa intitulado "Otimização do aproveitamento hídrico superficial na bacia hidrográfica do rio Araguari", aprovado na modalidade Demanda Universal, processo CRA APQ 01024-14.

Aos professores Ana Luiza Maragno, Márcio Schimdt, André Luiz de Oliveira que pela grande exigência, trouxeram-me profundos conhecimentos na área. Ao professor Hubaid, por ser meu mentor e me ajudar nos momentos de necessidade. À professora Vanessa por todo o carinho e palavras de incentivo durante todo o período que lecionei na UFU. Ao professor Dogmar, pela confiança e respeito ao longo de três semestres intensos.

Aos amigos (não citarei nomes para não causar intrigas e esquecimentos) pelas horas de lazer e por ouvirem e estarem ao meu lado nos momentos de "estresse". Aos meus amigos da graduação e da pós graduação, com os quais compartilhei momentos de dificuldades e, após entrar no mestrado, minha pequena sabedoria.

À minha família, pais, irmãos, tios, tias, avós e primos que sempre fizeram de tudo para que eu chegasse aqui... Seja financeiramente, através de palavras ou até mesmo de colo... Ao Valmir por ser o principal incentivador para que eu chegasse nesse momento, brigando comigo e me colocando sempre com os pés no chão. Meu exemplo de serenidade e amor.

À Universidade Federal de Uberlândia, à Faculdade de Engenharia Civil e à CAPES, que forneceram o apoio e bolsa de pesquisa necessário à realização do trabalho.

E, por fim, mas não menos importante, à Deus. Por me dar a vida e a oportunidade de viver todos esses momentos, caminhando comigo e me dando a Sua mão em todos os momentos...

"O cientista não é o homem que fornece as verdadeiras respostas; é quem faz as verdadeiras perguntas"

(Claude Lévi-Strauss)

MAGALHÃES, Ariel Ali Bento *Elaboração de uma ferramenta computacional de uso livre para simulação da qualidade da água em ambiente lótico – Quali-Tool.* Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2017. 180p.

RESUMO

Os usos múltiplos dos recursos hídricos geram conflitos de ordem quantitativa e qualitativa em escala de bacia hidrográfica, impulsionando o surgimento de ferramentas computacionais, com os mais diferentes níveis de complexidades, no auxílio à gestão e planejamento das águas superficiais. Este trabalho apresenta uma ferramenta de uso livre para a avaliação da qualidade da água em ambiente lótico, denominada QUALI-TOOL, utilizando-se de linguagem de programação Visual Basic com interface gráfica no Excel. A ferramenta permite a simulação dos parâmetros arbitrários (sólidos suspensos, compostos tóxicos, entre outros), oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, nitrogênio orgânico, amônia, nitrato, Escherichia Coli e metais pesados. Para o emprego de toda a potencialidade da ferramenta, utilizou-se como área de estudo uma bacia hipotética, cujo trecho de aproximadamente 62,5 km do rio principal recebe tributários, lançamentos pontuais e difusos de cargas poluentes e demandas consuntivas pontuais. O QUALI-TOOL revelou-se uma ferramenta útil para a comunidade acadêmica e profissional quanto ao planejamento e gestão de recursos hídricos em escala local e de bacia hidrográfica. O manual do usuário foi organizado com uma sequência de tópicos que ajuda no entendimento do usuário principiante. O manual traz também a resolução de um exemplo prático de autodepuração em um trecho de rio, cuja metodologia do sistema abrange toda a potencialidade da ferramenta. De uma forma geral, a ferramenta computacional QUALI-TOOL pode ser utilizada para fins acadêmico e técnico no planejamento e gestão de recursos hídricos em escala local e de bacia hidrográfica.

Palavras chave: Ferramenta computacional, QUALI-TOOL, ambiente lótico, autodepuração, qualidade da água.

MAGALHÃES, Ariel Ali Bento Elaboration of a free computational tool for simulating water-quality in a lotic enviroment – QUALI – TOOL. Msc Dissertation, College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2017.180p.

ABSTRACT

The uses of water resources generate conflicts of quantitative and qualitative nature in basin scale, it impelling the development of computational tools with the most different levels of complexity, which assist the management and planning in water surface. This paper presents an free tool for evaluation of water quality in lotic environment, called QUALI-TOOL, using a Visual Basic programming language with graphical interface in Excel. The tool allows the simulation of arbitrary parameters (suspended solids, toxic compounds and others), dissolved oxygen, oxygen biochemistry, organic nitrogen, ammonia, nitrate, Escherichia-coli and heavy metals. For the usage of the tool's full potential, a hypothetical basin was used as the study area, in which 62.5 km of the main river receives tributaries, punctual and diffuse inputs of pollutant loads and punctual consumptive demand. The simulations were also performed in others two computational tools to verify the accuracy of QUALI-TOOL. QUALI-TOOL has proved to be a useful tool for academic and professional community in planning and managing water resources in local and basin scale. The user's manual was organized in a topic sequence, helpful for the begginers users. The manual also provides a solution of a practical example of self-cleaning in a fictional stretch of a river, which the system metodology uses all the toll's potenciality. In general, the QUALI-TOOL computational tool can be used for academic and technical purposes in the planning and management of water resources at local and river basin level.

Keywords: Computational tool, QUALI-TOOL, lotic environment, self-cleaning, water quality.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO 10

CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 14

2.1 QUALIDADE DA ÁGUA 14

2.2 POLUIÇÃO DOS CORPOS DE ÁGUA 15

2.3 AUTODEPURAÇÃO DOS CORPOS DE ÁGUA E PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA 16

2.3.1 OD 18

2.3.2 Matéria orgânica (DBO) 19

2.3.3 Nitrogênio e frações 20

2.3.4 Fósforo Total 21

2.3.5 Coliformes termotolerantes (E-coli) 21

2.3.6 Metais 22

2.3.7 Contaminantes arbitrários 22

2.4 MODELAGEM MATEMÁTICA DA QUALIDADE DE ÁGUA EM AMBIENTE LÓTICO 23

2.5 O VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS - VBA 28

2.5.1 Estrutura do Excel ligada ao VBA 28

2.5.2 Sequência de programação no VBA 29

CAPÍTULO 3 METODOLOGIA 30

3.1 O MANUAL 30

3.2 INTERFACE QUALI-TOOL 31

3.3 TOPOLOGIA DO SISTEMA HÍDRICO 32

3.3.1 Fundamentação teórica 33

3.4 SEÇÕES TRANSVERSAIS 34

3.5 DISCRETIZAÇÃO 36

3.5.1 Fundamentação teórica 37

3.6 VAZÕES PONTUAIS 38

3.7 VAZÕES DIFUSAS 39

3.8 HIDRÁULICA DE CANAIS 39

3.9 CONCENTRAÇÕES PONTUAIS 41
3.10 CONCENTRAÇÕES DIFUSAS 42
3.11 COEFICIENTES 43
3.12 CONCENTRAÇÕES (RESULTADOS) 45
3.13 ANEXOS 46
3.14 FÓRMULAS UTILIZADAS 49
3.14.1 Hidráulica de rios 49
3.14.2 EQUAÇÃO DE MISTURA 50
3.14.3 EQUAÇÃO DE ADVECÇÃO-DIFUSÃO 51
3.15 CASOS PARTICULARES 53
3.15.1 Caso o usuário não deseja simular algum parâmetro 53
3.15.2 Caso o usuário não possua dados de topologia (coordenadas e elevações) 54
3.16 CONSIDERAÇÕES GERAIS 55
3.17 PROCESSOS MODELADOS E CONSTITUINTES 56
3.17.1 PROCESSOS MODELADOS 56
3.17.2 CONSTITUINTES 57
3.18 UNIDADES DE ENTRADA 58
3.19 MACROS (PROGRAMAÇÃO) 59
CAPÍTULO 4 RESULTADOS 60
4.1 RESOLUÇÃO DO EXERCÍCIO PROPOSTO 60
4.1.1 ENUNCIADO 61
4.1.2 RESOLUÇÃO DO EXERCÍCIO 65
4.2 COMPARAÇÃO COM OUTRAS FERRAMENTAS 85
4.2.2 PECULIARIDADES DAS FERRAMENTAS 85
4.2.3 RESULTADOS 86
CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES E REOMENDAÇÕES 91
5.1 CONCLUSÕES 91
5.2 RECOMENDAÇÕES 91
REFERÊNCIAS 913
APÊNDICE A – MÓDULOS DO VBA 919

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A conservação dos recursos hídricos se tornou uma preocupação pungente pela constatação de que o uso dos recursos naturais está descontrolado e pela descoberta de que a água não é um recurso renovável ilimitado. A maior discussão é a gestão da água doce, pois ela é essencial para todos os seres vivos e um recurso primordial para o desenvolvimento dos países.

Sendo o Brasil pioneiro no conservacionismo de recursos hídricos desde 1930, onde sua regulamentação inicial propõs um modelo centralizado e influenciado pelo setor de energia elétrica, a atual Constituição Federal criou uma nova gestão dos recursos hídricos, integrada e ao mesmo tempo descentralizada, onde o recurso hídrico passa a ter valor econômico (REBOUÇAS, 2002).

A escassez de água doce de boa qualidade, associada ao fenômeno de aquecimento global, é um dos problemas ambientais mais graves, pois seu uso é indiscriminado em todo mundo, particularmente na agricultura irrigada (UICN, PNUMA e WWF, 1991).

Tal preocupação se deve à água doce ser um recurso material limitado e com múltiplas funções, tais como abastecimento humano, insumo e matéria-prima para a atividade industrial e irrigação, leito navegável, beleza cênica em atividades de recreação e lazer, pesca, diluidor de esgotamento de efluentes urbanos e industriais e produção de energia elétrica (GARRIDO, 2000).

No mundo, cerca de 663 milhões de pessoas não têm fácil acesso à boas fontes de água potável, enquanto o número de pessoas sem acesso algum à água de boa qualidade, confiável e segura suficiente para consumo por seres humanos é de pelo menos 1,8 bilhão. Mais que um terço da população global - cerca de 2,4 bilhões pessoas - não usam instalações de saneamento desenvolvidas; destes, um bilhão de pessoas ainda praticam defecação a céu aberto (UNICEF / OMS, 2015).

Entre 2011 e 2050, a população mundial deverá aumentar em 33% (WWPA, 2016) e a demanda de alimentos aumentará 60% no mesmo período, com expectativa para esse setor de aumento

de 20% no consumo de água. Além disso, prevê-se que as populações que vivem em áreas urbanas quase dobrarão, de 3,6 bilhões em 2011 para 6,3 Bilhões em 2050 (WWPA, 2016). Com mais 2,3 bilhões de pessoas (mais de 40% da população global) espera-se que se viva em áreas com grave estresse hídrico, especialmente na África do Norte e do Sul e Ásia Central e Central.

O Brasil possui 12% das reservas de água do planeta com 2,8% da população mundial, a China tem 25% da população com 10% das reservas de água e o Japão, com 2,5% da população mundial, possui o equivalente a 1% das reservas, tal situação coloca o Brasil entre as nações mais ricas em água doce do planeta, com 54% do deflúvio total dos rios da América do Sul (5.600 km^3/ano) ou 14% do mundo (40.673 km^3/ano). No entanto, existem enormes desigualdades entre densidade demográfica e produção hídrica no país. Por exemplo, a região amazônica, com 78% do potencial hídrico nacional, possui densidade demográfica de apenas 2 a 5 habitantes/km^2, enquanto a bacia do rio Paraná gera 6% de recursos hídricos com densidade entre 25 a 100 habitantes/km^2 (REBOUÇAS, 1999).

Além do claro conflito na quantidade de água disponível em um determinado local, tem-se o fato que, em alguns casos, a água pode não estar própria para consumo. Como já mencionado, o corpo hídrico é utilizado no processo depurador natural de efluentes com ou sem tratamento prévio ao lançamento. Com isso, as ferramentas computacionais de modelagem de qualidade da água em rios e reservatórios são fundamentais no planejamento e gestão de recursos hídricos em escala de bacia hidrográfica.

A partir da década de 30, o comprometimento da qualidade da água superficial nas cidades com elevada densidade populacional impulsionou o surgimento dos primeiros modelos de qualidade da água que, com o passar do tempo, tornaram-se cada vez mais completos. Atualmente, os modelos com maiores aceitabilidade são Qual2E e Qual2K (CHAPRA et al., 2008), Wasp (YENILMEZ e AKSOY, 2013), Aquatox (MAMAQANI et al., 2011), Gescal (PAREDES-ARQUIOLA et al., 2010a e 2010b), entre outros. Nas últimas décadas, a necessidade de implantação de planos de recursos hídricos em escala de bacia hidrográfica motivou o surgimento de ferramentas computacionais que atuam como Sistemas de Suporte à Decisão - SSD e que vinculam a modelagem quantitativa e qualitativa da água, com destaque para trabalhos desenvolvidos por Argent et al. (2009), Paredes-Arquiola et al. (2010a, 2010b), Zhang et al. (2011), Sulis & Sechi (2013), Welsh et al. (2013) e Salla et al. (2014).

Além disso, na contramão ao desenvolvimento atual de ferramentas computacionais robustas e eficientes para trabalhos de escala de bacia hidrográfica, observa-se a carência de ferramentas mais acessíveis, com interface amigável, didática ao aluno de graduação na área ambiental e aos órgãos ambientais e empresas que necessitem de uma análise mais simples e rápida.

Neste contexto, o objetivo deste mestrado acadêmico foi desenvolver uma ferramenta computacional de uso amigável ao usuário, livre e objetiva, que faz uma análise qualitativa de água, em primeira etapa em ambiente lótico. Foi utilizada a linguagem de programação *Visual Basic* através do implemento do *Visual Basic do Applications* dentro da planilha eletrônica do Excel®.

Nesta ferramenta computacional, o usuário pode simular a qualidade da água em cada trecho discretizado e, a partir daí obter o perfil ao longo da extensão total de rio estudado para diversos parâmetros de qualidade da água, tais como oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total, nitrogênio e suas frações, coliformes fecais (especificamente *E-coli*), metais totais e contaminantes arbitrários (sólidos suspensos, condutividade, compostos orgânicos, entre outros).

O texto desta dissertação de mestrado está organizado em cinco capítulos, como segue:

Capítulo 1: Introdução que engloba a justificativa deste trabalho e os objetivos pretendidos;

Capítulo 2: Revisão bibliográfica sobre conceito de autodepuração em ambiente lótico, alguns modelos de qualidade da água existentes na literatura e descrição sucinta da linguagem de programação *Visual Basic for Applications* - VBA;

Capítulo 3: Materiais e métodos, que se resume à elaboração da ferramenta e sua utilização através do manual do usuário;

Capítulo 4: Resultados, que inclui a resolução de exemplo prático em situação hipotética e comparações do QUALI-TOOL com outras ferramentas já utilizadas na atualizade;

Capítulo 5: Conclusões e recomendações.

Referências bibliográficas.

APÊNDICE A: Módulos desenvolvidos no VBA.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o desenvolvimento de uma modelagem de qualidade da água em rio, o usuário deve possuir conhecimento das principais características da poluição e compreender o processo natural de autodepuração em ambiente lótico. Além disso, o usuário deve conhecer as potencialidades e limitações das diversas ferramentas computacionais disponíveis, a fim de escolher a que melhor se adequa aos seus objetivos. Estas informações integram os principais subitens desta revisão bibliográfica. Como último subitem, é feita uma descrição sucinta de *Visual Basic for Applications* (VBA), que foi a linguagem de programação utilizada na elaboração da ferramenta computacional QUALI-TOOL.

2.1 QUALIDADE DA ÁGUA

De acordo com Von Sperling (2007), a qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem. Quanto às condições e fenômenos naturais, sabe-se que a qualidade das águas é afetada pelo escoamento superficial e infiltração no solo, resultantes da precipitação atmosférica. A poluição ocorre quando a água em escoamento ou em infiltração encontra-se com partículas ou substâncias impuras. Assim, a incorporação de sólidos em suspensão ou dissolvidos ocorre até mesmo na condição em que a bacia hidrográfica está totalmente preservada. Quanto à interferência humana, a forma como o homem usa e ocupa o solo tem uma implicação direta na qualidade da água, seja de forma concentrada e pontual (geração de esgoto doméstico, por exemplo) ou de forma difusa, como na aplicação de defensivos agrícolas.

A qualidade da água pode ser representada através de diversos parâmetros que indicam suas características físicas, químicas e biológicas. Os principais parâmetros são oxigênio dissolvido, matéria orgânica, nitrogênio e frações, fósforo e frações, temperatura, micropoluentes, bactérias, fungos, virús, etc. Para muitas ferramentas computacionais de uso livre, o potencial de

uma água transmtir doenças normalmente é representado de forma indireta por meio de organismos indicadores de contaminação fecal, como o *Escherichia Coli* - *E-coli* (SALLA et al., 2016).

2.2 POLUIÇÃO DOS CORPOS DE ÁGUA

A Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, entre outras considerações, conceitua:

> Poluição: a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que diretas ou indiretamente:
> (a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
> (b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
> (c) afetem desfavoravelmente a biota;
> (d) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Sabendo-se que, ao passar dos anos, a poluição dos rios só tem aumentado, é necessária a busca de conhecimento para o controle desta. Uma dessas formas é justamente estudar e conhecer a capacidade de autodepuração de cada corpo hídrico, estimando a quantidade de efluentes que cada rio é capaz de receber sem que suas características naturais sejam prejudicadas. Dependendo das concentrações de poluentes nos rios, o processo de autodepuração pode ser bastante eficiente na melhoria da qualidade de água.

No Brasil a poluição ocorre pelo não cumprimento da legislação, pela ineficiência de políticas públicas e, principalmente, pela falta de conscientização da população no sentido de prevenir a degradação (SOARES, 2003). Essa falta de conscientização é gerada pela sensação de abundância, já que o Brasil possui cerca de 12% da água superficial do mundo (UNIVERSIDADE DA ÁGUA, 2006).

Uma das fontes de poluição em lagos, rios, estuário e nas regiões costeiras é o lançamento de esgotos domésticos e industriais, *in natura* ou com tratamento inadequado, modificando o ecossistema do corpo de água. A proteção deste começa com o tratamento dos dejetos lançados para atender a preservação satisfatória da qualidade da água. Um problema agravante do lançamento de poluentes é a quantidade de matéria orgânica lançada, onde a natureza fica incapacitada de reverter o quadro de poluição devido a grande carga poluidora nos cursos de água.

Muitos dos fatores que influenciam a quantidade da água na bacia também afetam a qualidade da água. Por exemplo, a retirada de um certo volume de água para irrigação diminui a vazão do rio e a capacidade de diluição da carga poluente. A gestão dos recursos hídricos visa a redistribuição da água, no espaço e no tempo, para atender as necessidades quali-quantitativas da sociedade numa certa região (OPPA, 2007).

2.3 AUTODEPURAÇÃO DOS CORPOS DE ÁGUA E PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

A introdução de matéria orgânica em um corpo de água implica em um consumo de OD nesse corpo de água. Isso se deve aos processos de estabilização da matéria orgânica realizados pelas bactéricas decompositoras, que utilizam o OD para respiração. Esse decréscimo pode causar diversos problemas ambientais, como a "morte do rio" devido à níveis excepcionalmente baixos de OD (VON SPERLIG, 2007).

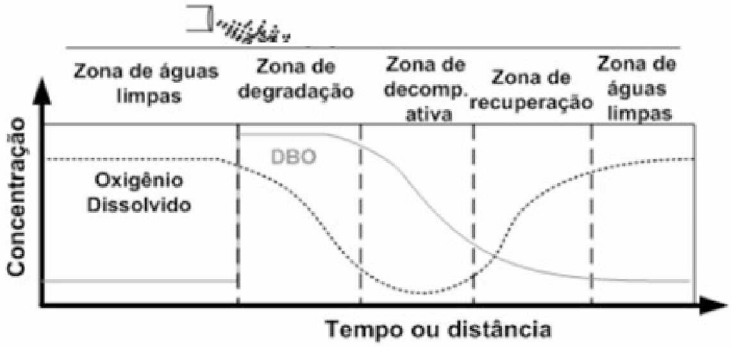
A autodepuração é um processo que representa a capacidade de um curso de água restaurar suas características ambientais, naturalmente, devido à decomposição de poluentes. De acordo com Von Sperling (2007), a autodepuração pode ser entendida como um fenômeno de sucessão ecológica, em que o restabelecimento do equilíbrio no meio aquático (busca pelo estágio inicial encontrado antes do lançamento de efluentes) é realizado por mecanismos essencialmente naturais.

A associação de diversos procedimentos físicos, químicos e biológicos é responsável pela autodepuração. A diluição, sedimentação, oxidação, decomposição e reaeração atmosférica são os componentes e etapas que integram esse processo (HYNES, 1960).

> "Em termos amplos, o fenômeno da autodepuração está vinculado ao restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, após alterações induzidas pelos despejos afluentes. Em termos específicos de poluição por matéria orgânica, tem-se que os compostos orgânicos são convertidos em compostos estáveis, como gás carbônico e água e não prejudiciais ao ponto de vista ecológico." (VON SPERLING, 2007)

De acordo com Andrade (2010), o processo de autodepuração é um fenômeno de sucessões ecológicas e se desenvolve ao longo do tempo e da direção longitudinal do curso de água e seus estágios são fisicamente identificados por trechos (Figura 1).

Figura 1 – Diferentes zonas da autodepuração



Fonte: Andrade (2010)

i. Zona de águas limpas – situada antes do lançamento do efluente e depois da zona de recuperação, sendo identificada pela alta concentração de OD e vida aquática superior;
ii. Zona de degradação – a jusante do ponto de lançamento, possuindo uma redução primitiva na concentração de OD e presença de organismos mais resistentes;
iii. Zona de decomposição ativa – a concentração de OD é mínima e a vida aquática é composta por bactérias e fungos (anaeróbicos);
iv. Zona de recuperação – reequilíbrio similar ao anterior à poluição, com presença de vida aquática superior.

A quantificação e a compreensão do fenômeno de autodepuração são de extrema importância, principalmente quando se busca controlar o lançamento de cargas de efluentes.

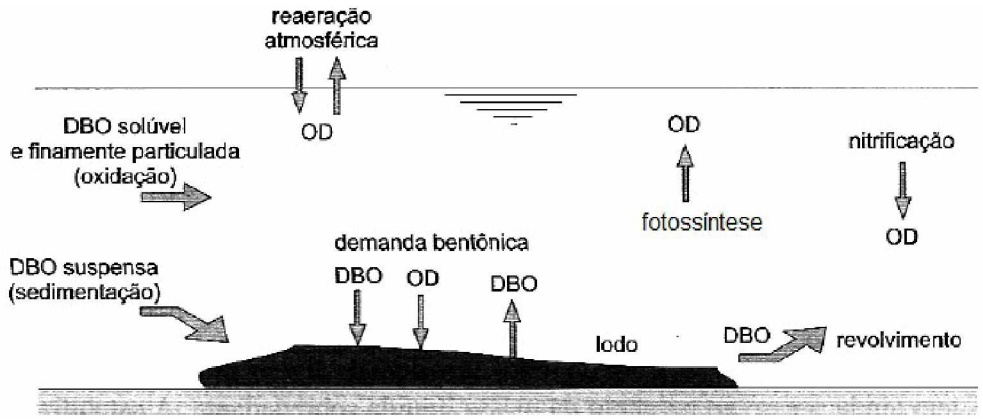
Para a melhor compreensão da autodepuração faz-se necessário conhecer os principais parâmetros de qualidade da água, tais como OD, matéria orgânica (identificada pelo parâmetro DBO), nitrogênio, fósforo e *E-coli*. Os nutrientes citados encontram-se disponíveis na massa líquida e são utilizados a nível celular pelos microrganismos para que ocorram os metabolismos essenciais, sendo estes passíveis das interferências físicas do meio ambiente (FERREIRA, 2014).

Além disso também é importante conhecer os principais processos que ocorrem na degradação desses parâmetros, como sedimentação, oxidação, reaeração, entre outros. Ressalta-se que esses processos ocorrem simultaneamente e constantemente na massa líquida, mas que foram aqui dispostos separadamente devido à complexidade das interações. O maior entendimento sobre os processos químicos, físicos e biológicos possibilitam o desenvolvimento do conhecimento sobre a dinâmica dos nutrientes nos ecossistemas.

2.3.1 OD

De acordo com Von Sperling (2007), existe um equilíbrio no processo de autodepuração entre as fontes de consumo e de produção de oxigênio. Os principais processos que consomem e produzem oxigênio são listados a seguir e ilustrados na Figura 2.

Figura 2 – Processos e interações no balanço de OD



Fonte: Von Sperling (2007)

O consumo de oxigênio pode ser resumido através dos seguintes processos:

i. A oxidação da matéria orgânica – processos nos quais elétrons são extraídos de uma substância, aumentando seu estado de oxidação, ou seja, transformando poluentes em compostos menos indesejáveis ao meio ambiente. A oxidação total ou mineralização origina produtos finais simples e estáveis, como CO_2, H_2O, NO_3, etc. Bactérias heterotróficas aeróbias (organismos decompositores) são capazes de oxidar a matéria orgânica;
ii. A nitrificação – as bactérias autotróficas empregam o oxigênio dissolvido para modificar as formas nitrogenadas de matéria orgânica (nitrogênio amoniacal) em nitritos e nitratos. O consumo de oxigênio dissolvido nestas reações é chamado demanda nitrogenada por acontecer numa fase posterior a das reações de oxidação da matéria orgânica carbonácea, devido às bactérias nitrificantes autotróficas crescerem menos que as bactérias heterotróficas;
iii. A demanda bentônica – consumo de oxigênio dissolvido pela matéria orgânica decantada, sendo a maior parte dessa conversão através de condições anaeróbias, pela dificuldade de penetração do oxigênio na camada de lodo. Não há consumo de oxigênio na conversão,

porém em contato com a água, a camada superficial de lodo sofre decomposição aeróbia, resultando em uso de oxigênio.

Para a produção de oxigênio tem-se:

i. A reaeração atmosférica – processo mais frequente e principal fator de introdução de oxigênio no meio líquido através da transferência de gases, no qual as moléculas de gases são intercambiadas entre o meio líquido e gasoso. Isso gera um aumento da concentração do oxigênio na fase líquida principalmente através da difusão turbulenta;
ii. A fotossíntese - principal método utilizado pelos seres autotróficos para a síntese da matéria orgânica. O processo se realiza pela presença de energia luminosa, conforme ilustra de forma simplificada a Equação (1).

$$CO_2 + H_2O + \text{energia luminosa} \rightarrow \text{matéria orgânica} + O_2 \quad (1)$$

2.3.2 Matéria orgânica (DBO)

O carbono circula no meio aquático através de três classes de processos: (1) reações assimilativas e desassimilativas de carbono, principalmente na fotossíntese e na respiração; (2) troca de dióxido de carbono entre a atmosfera e os oceanos; e; (3) sedimentação de carbonatos (RICKLEFS, 2001).

A matéria orgânica proveniente de efluentes domésticos lançada no meio aquático, facilmente quantificada de forma indireta pelo parâmetro DBO, é constituída em grande parte por carbono, sendo que a modelagem do ciclo de carbono é considerada o processo mais importante, na qual os outros ciclos são baseados (FRAGOSO, et al., 2009).

O carbono ou matéria orgânica carbonácea (com base no carbono orgânico) pode ser encontrado nas frações não biodegradável (em suspensão e dissolvida) e biodegradável (em suspensão e dissolvida). A matéria biodegradável em suspensão possui dimensões maiores e, em função do seu tamanho, a sua sedimentação é mais rápida do que a matéria dissolvida. Como fonte de energia, a matéria orgânica dissolvida é consumida mais facilmente.

Outro fator que pode aumentar a matéria orgânica em suspensão é o revolvimento de fundo, que consiste na reintrodução da matéria orgânica na massa líquida anteriormente sedimentada. Esse revolvimento ocorre em situações em que a vazão e a velocidade das águas aumentam.

O processo de degradação dessa matéria orgânica em produtos e energia por seres decompositores, com destaque para as bactérias, acaba por consumir o OD presente na água, uma vez que os processos metabólicos destes seres necessitam de oxigênio para suas funções (RICKLEFS, 2001).

2.3.3 Nitrogênio e frações

O ciclo do nitrogênio é um dos mais importantes no ecossistema aquático, visto que por meio da sua assimilação e do seu metabolismo é possível aos seres vivos produzirem moléculas essenciais como as proteínas, aminoácidos e ácidos nucléicos (FRAGOSO, et al., 2009).

A fonte primária de obtenção do nitrogênio molecular (N_2) é a atmosfera, sendo necessárias transformações para que os organismos possam utilizá-lo como fonte de energia. Além dessa fonte, o nitrogênio pode ser proveniente de fontes antrópicas como despejos industriais, domésticos, excrementos de animais e fertilizantes ou de fontes naturais, uma vez que este é parte constituinte de proteínas e vários compostos biológicos, além do nitrogênio de composição celular de microorganismos (VON SPERLING, 2007).

Ainda de acordo com Von Sperling (2007), tem-se que o nitrogênio no meio líquido apresenta-se nas formas de nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal (amônia), nitrito e nitrato. Dentre os processos de conversão da matéria nitrogenada, a nitrificação (oxidação de amônia a nitritito e deste a nitrato) consome OD do meio líquido. Esse processo está representado pelas s equações (2) e (3).

$$2NH_4^+ + 3O_2 \rightarrow 2NO_2^- + 2H_2O \quad (2)$$

$$2NO_2^- + O_2 \rightarrow 2NO_3^- \quad (3)$$

Outra reação de importância é a conversão de nitrogênio orgânico à amônia (amonificação), pois o resultado final resulta potencialmente no processo de nitrificação explicado anteriormente. Essa reação se inicia já na rede coletora, prosseguindo nas unidades de tratamento e

eventualmente no curso de água receptor. Mais comum é que, ao final do tratamento de esgotos, a quantidade de nitrogênio orgânico já esteja baixa (VON SPERLING, 2007).

2.3.4 Fósforo Total

O fósforo é essencial para as plantas e animais, uma vez que é parte constituinte da molécula de ácido desoxirribonucleico (DNA), trifosfato de adenosina (ATP), adenosina diofosfato (ADP) e membranas de células lipídicas. É proveniente de rochas, ossos fossilizados, fertilizantes, detergentes e esgotos transportados para o ecossistema aquático através da rede de esgotamento sanitário (FRAGOSO et al, 2009).

Este nutriente é essencial para o crescimento dos microorganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica, mas em elevadas concentrações é responsável, juntamente com o nitrogênio, pelo processo de eutrofização, uma vez que também é indispensável para o crescimento de algas.

A drenagem pluvial de áreas agrícolas (através do arraste de fertilizantes) e áreas urbanas (com o escoamento de produtos químicos, cargas poluidoras de esgoto e detergentes) aumentam a presença dos teores de fósforo nos cursos de água.

2.3.5 Coliformes termotolerantes (*E-coli*)

Os microorganismos presentes nos esgotos e em cursos de água desempenham diferentes funções de grande importância como, por exemplo, a decomposição da matéria orgânica, como citado anteriormente. Porém, uma categoria de microorganismos pode causar problemas de saúde em seres humanos e animais, são eles os parasitas (bactérias, vírus, etc).

A detecção dos agentes patogênicos é feita utilizando organismos indicadores de contaminação fecal. Tais organismos são predominantemente não patogênicos, mas dão uma indicação da contaminação da água por fezes humanas ou de animais e de sua potencialidade de transmitir doenças. Estes organismos são as bactérias do grupo coliforme, sendo a *Escherichia coli* a principal bactéria do grupo (VON SPERLING, 2007). Esse grupo de bactérias tem no trato intestinal humano as condições ótimas para seu crescimento. Uma vez submetidos às adversas condições no corpo de água, a tendência é descrescerem em número, caracterizando o decaimento.

2.3.6 Metais

Segundo Malavolta (1994), a expressão "metal pesado" se aplica aos elementos que tem densidade maior que 5 g/cm³ ou que possuem número atômico superior a 20. Além disso, possuem características próprias como aparência brilhante, bons condutores de eletricidade e, geralmente, participam de reações químicas com íons positivos de enzimas no metabolismo (LEE et al., 1985). Os mais característicos são: arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), níquel (Ni), manganês (Mn), mercúrio (Hg) e zinco (Zn).

Os metais podem ser introduzidos nos ecossistemas aquáticos de maneira natural ou artificial. Naturalmente, por meio do aporte atmosférico e chuvas, pela liberação e transporte a partir da rocha matriz ou outros compartimentos do solo onde estão naturalmente (PAULA, 2006; SEYLER; BOAVENTURA, 2008). De modo artificial, por fontes antropogênicas de diversos ramos: esgoto in natura de zonas urbanas, efluentes de indústrias, atividades agrícolas e rejeitos de áreas de mineração e garimpos (JORDÃO, 2002).

A agricultura, por exemplo, constitui uma das mais importantes fontes não pontuais de poluição por metais em corpos de água. As principais fontes liberadoras são os fertilizantes, os pesticidas, os preservativos de madeira e dejetos de produção intensiva de bovinos, suínos e aves (COSTA, 2007; KAY, 1973; SANTOS et al., 2002). Além disso, os metais lançados no solo a partir desta atividade são carreados para os rios pelo escoamento de águas superficiais provenientes das chuvas, persistindo no meio aquático por apresentar forma livre, ou iônica, o que facilita sua acumulação nos tecidos dos peixes principalmente.

2.3.7 Contaminantes arbitrários

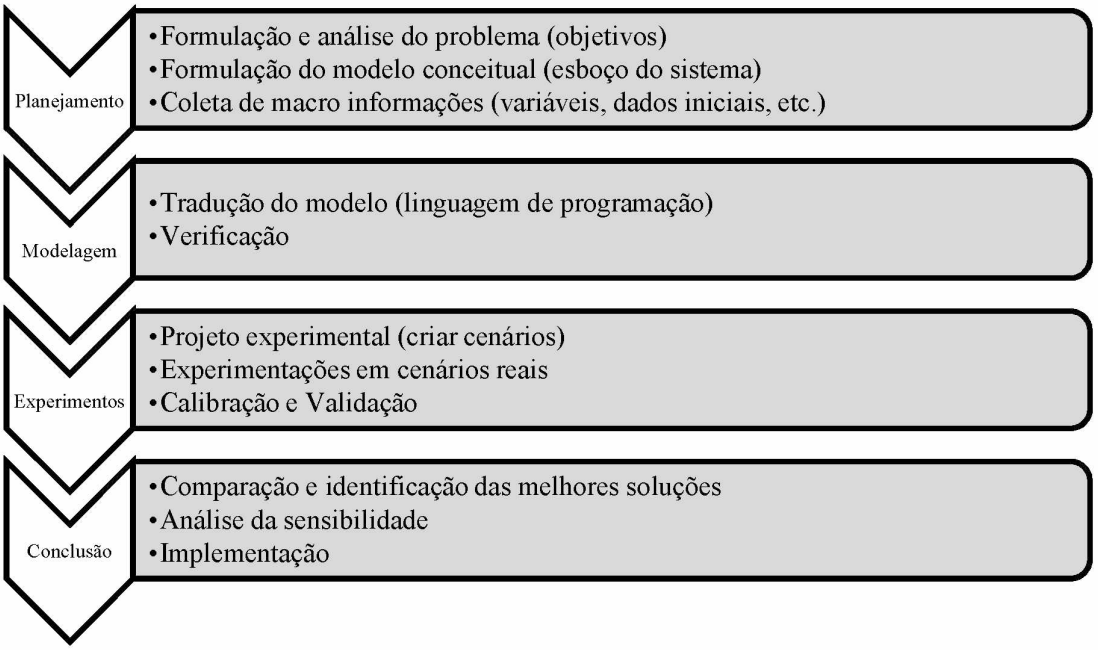
De acordo com Paredes-Arquiola (2004), a associação a certos constituintes como "convencionais" é devido à sua frequente consideração na história da modelagem de qualidade da água. Entre estes estão os parâmetros considerados anteriormente (oxigênio dissolvido, matéria orgânica, coliformes, ciclo do nitrogênio e fósforo e metais, por exemplo). Quase todas as ferramentas da literatura permitem considerar contaminantes arbitrátios que se modalerem em um único processo de transformação de primeira ordem (incluindo a sedimentação e ressurgimento de fundo). Dentro deste grupo encontram-se: sólidos suspensos, compostos tóxicos e contaminantes conservativos (a constante de degradação é nula).

2.4 MODELAGEM MATEMÁTICA DA QUALIDADE DE ÁGUA EM AMBIENTE LÓTICO

O modelo matemático é uma representação ou interpretação simplificada da realidade, ou uma interpretação de um fragmento de um sistema, segundo uma estrutura de conceitos teóricos ou experimentais, originalmente desenvolvido para auxiliar na solução de problemas (CHAPRA, 1997). Os procedimentos (etapas) do desenvolvimento de um modelo matemático de forma geral para qualquer problema são ilustrados no fluxograma da Figura 3.

Os modelos matemáticos da qualidade de água possibilitam compreender o meio ambiente e visualizar o problema de poluição de forma integrada. São cada vez mais reconhecidos como instrumentos úteis para simular processos de gestão das águas e constantemente refinados e atualizados para encontrar soluções de problemas novos e emergentes da poluição de água superficial (BOCKELMANN et al, 2004; RAUCH et al, 1998).

Figura 3 – Etapas do desenvolvimento de um modelo matemático



Fonte: Correia (2015)

As técnicas de modelagem de qualidade de água vêm sendo aprimoradas desde a sua origem com o modelo desenvolvido por Streeter e Phelps (1925), no trabalho denominado "O estudo

da poluição e purificação natural do Rio Ohio". Esse modelo considera o escoamento permanente uniforme e simula os parâmetros DBO e OD. O modelo Streeter-Phelps representa o marco dos modelos que atualmente vêm sendo aperfeiçoados (TUCCI, 1998). Chapra (1997) apresenta a evolução dos modelos de qualidade da água em quatro fases principais. Essas fases relacionam os aspectos sociais e a capacidade computacional disponível em cada fase.

A primeira fase considera todos os trabalhos publicados entre 1925 e 1960, sendo a fase marcada pelo modelo Streeter-Phelps. Esse modelo estima a concentração de OD e DBO em função dos coeficientes de reaeração e desoxigenação. Nos anos 60, a disponibilidade de computadores possibilitou o estudo e aplicações dos modelos para sistemas mais complexos. O foco nesse período ainda era o OD e a DBO. Nessa época, mais do que focar problemas pontuais começa-se a avaliar o todo, sendo a bacia de drenagem visualizada como um sistema (CHAPRA, 1997; SILVA, 2003).

Na década seguinte, anos 70, uma nova percepção da sociedade com relação ao meio ambiente começava a crescer juntamente com um movimento ecológico. O principal problema de qualidade da água nesse período era a eutrofização, pois os pesquisadores expandiram sua percepção ambiental e com os avanços tecnológicos e novas ferramentas passaram a estudar além do OD. Consequentemente, foram ampliados os estudos para os mecanismos de representação dos processos biológicos (CHAPRA, 1997; SILVA, 2003).

A mais recente fase da modelagem de qualidade da água em rios teve como maior avanço o reconhecimento da importância do transporte e destinação de substâncias tóxicas. Dessa forma, começaram os estudos sobre o acúmulo dessas substâncias e sua atuação na cadeia alimentar (SILVA, 2003; SALLA et al., 2016).

A evolução da modelagem de qualidade de água resultou em uma estrutura teórica unificada, abrangendo poluentes convencionais e tóxicos. E junto a essa evolução está a disponibilidade dos mais variados programas de computador para a implementação da teoria (CHAPRA, 1997). A Tabela 1 apresenta as quatro fases de desenvolvimento dos modelos de qualidade da água.

Os modelos de qualidade da água são cada vez mais utilizados por gestores como auxílio à tomada de decisão. Sendo assim, a escolha de um modelo matemático depende das caracterís-

ticas do sistema a ser simulado, do nível de precisão desejado em função dos objetivos do projeto, dos dados disponíveis e da disponibilidade de metodologia para representar os processos identificados (TUCCI, 1998).

Tabela 1 Evolução dos modelos matemáticos de qualidade da água

Fase	Problemas/foco	Parâmetros analisados	Sistema
1925-1960 (Streeter-Phelps)	Esgoto sem tratamento e efluente primário	DBO/OD	Unidimensional
1960-1970 (Computadores)	Efluente primário e secundário	DBO/OD	Unidimensional e Bidimensional
1970-1977 (Biologia)	Eutrofização	Nutrientes	Unidimensional, Bidimensional e Tridimensional
1977 – Presente (Tóxicos)	Elementos Tóxicos	Elementos orgânicos e metais	Interações Água-Sedimento

Fonte: Adaptado de Oppa (2007)

Desde o surgimento do modelo de Streeter & Phelps (1925), vários modelos foram criados para solucionar os mais diversos problemas de qualidade da água. A escolha de um determinado modelo deve atender ao planejamento da bacia inteira e não apenas a trechos isolados de um curso de água. A seguir são citados alguns dos modelos mais utilizados na simulação da qualidade da água em rios.

- **AQUATOX - US Environmental Protection Agency (USEPA)**

É um modelo de simulação de sistemas aquáticos. O AQUATOX prediz o destino de vários parâmetros (tóxicos, matéria orgânica, sedimento e oxigênio dissolvido), bem como os seus efeitos nos peixes, invertebrados e plantas aquáticas (ecossistemas). Esse modelo é um instrumento valioso de ecologistas, biólogos, modeladores de qualidade de água interessados em avaliar os riscos ecológicos de ecossistemas aquáticos. É de uso livre e permite a simulação em escoamento permanente e também não permanente, de forma unidirecional.

- **CE-QUAL-W2 (US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station Environmental Laboratory, 1995)**

O modelo CE-QUAL-W2 é bidimensional (longitudinal/vertical) e hidrodinâmico. Pode ser aplicado a rios, lagos, reservatórios e estuários. Novos aperfeiçoamentos foram dando origem

a outras versões. As versões têm a capacidade de modelar toda uma bacia hidrográfica, interligando rios a lagos, reservatórios e/ou estuários. Esse modelo pode simular 21 constituintes (fitoplâncton, amônia, nitritos, nitratos, fósforo total, matéria orgânica, etc.), além da temperatura que está incluída nos cálculos hidrodinâmicos devido a sua influência na densidade da água. É de uso livre e permite a análise em escoamento permanente.

- **MIKE 2016 ® (Danish Hydraulic Institute - DHI)**

Os produtos DHI da série MIKE® fornecem uma aproximação versátil e abrangente em hidrodinâmica e modelagem da qualidade de água em rio, contendo uma abundância de aplicabilidades: costas e mares, áreas urbanas, recursos hídricos em escala de bacia hidrográfica e até águas subterrâneas. Com realação aos recursso hídricos, destaca-se o MIKE HYDRO RIVER® sucessor do MIKE11, desenvolvido de forma modular. Alguns destes módulos incluem as seguintes potencialidades: enchentes e inundações; extravasamentos e romprimentos de barragens; calibração automática; advecção-dispersão de poluentes; modelagem de sedimentos. Os constituintes simulados são OD, DBO, coliformes, nitrogênio, fósforo, metais e indicadores aquáticos (fitoplâncton, zooplancton e demanda bentônica). Essa ferramenta não é de uso livre e a sua análise pode ser em até 2D. Analisa escoamentos permanentes e não permanentes.

- **WASP7 - US Environmental Protection Agency (USEPA)**

Esse modelo de simulação da qualidade da água é uma versão atualizada do WASP original desenvolvido em 1970. WASP7 auxilia os usuários na interpretação e previsão das respostas de qualidade da água. É um modelo hidrodinâmico de sistemas aquáticos (coluna de água e camada bentônica). Permite que o usuário estude 1, 2, e 3 dimensões e vários tipos de poluentes. Os processos de advecção, dispersão e carga difusa e pontual são representados no modelo. Os constituintes modelados são: nitrogênio, fósforo, OD, DBO, algas, produtos químicos orgânicos, metais, mercúrio, agentes patogênicos e temperatura. É de uso livre (USEPA, 2006; DI TORO et al., 1970; ARAÚJO, 2005).

- **QUAL2E (US EPA; Brown & Barnwell, 1987)**

É um modelo de qualidade de água abrangente e versátil. Pode simular até 15 constituintes de qualidade de água, sendo: OD, DBO, temperatura, algas, amônia, nitrito, nitrato, nitrogênio orgânico, fósforo orgânico, fósforo dissolvido, coliformes, três substâncias conservativas e uma

arbitrária não conservativa. O modelo pode operar em regime permanente e transiente. Considera múltiplas descargas de esgoto, retiradas de água, afluentes e efluentes incrementais. Sua linguagem de programação é ANSI FORTRAN 77, é de uso livre e sua análise é unidimensional.

- **QUAL-UFMG (Von Sperling, 2007)**

Uma ferramenta simples para a modelagem da qualidade da água e de crescente utilização (VON SPERLING, 2007). Desenvolvido em planilhas, possibilita a modelagem de rios baseado no modelo QUAL2-E, desenvolvido pela USEPA. O QUAL-UFMG permite a modelagem dos seguintes constituintes ao longo do rio: Demanda Bioquímica de Oxigênio, Oxigênio Dissolvido, Nitrogênio Total e suas frações (orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato), Fósforo Total e suas frações (orgânico e inorgânico), Coliformes Termotolerantes ou *E. coli*. Sua análise é unidimensional, tem uso livre e regime permanente.

- **GESCAL (AQUATOOL – Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia – IIAMA/UPV).**

O módulo GESCAL é uma ferramenta para modelagem da qualidade da água em escala de bacia hidrográfica em ambientes lêntico e lótico. Está vinculado ao Sistema Suporte à Decisão (SSD) AQUATOOL para o planeamento e gestão dos recursos hídricos (Andreu et al., 1996). Este módulo reflete a evolução espaço-temporal da qualidade da água nos sistemas modelados. O programa permite a modelagem de temperatura, poluentes arbitrários (sólidos suspensos, condutividade, fósforo total, entre outros), oxigênio dissolvido, matéria orgânica carbonácea, ciclo do nitrogênio e sua influência no oxigênio dissolvido, eutrofização e sua influência sobre o oxigênio dissolvido. É de uso livre para estudantes e instituições de ensino cujo uso seja para fins não lucrativos.

De acordo com a literatura da área, inúmeros são os modelos de qualidade da água em rios. A utilização adequada dos modelos decorre da escolha mais apropriada para cada situação. O objetivo da melhor alternativa é sempre o mesmo, que é auxiliar a pesquisa e o planejamento e gestão dos recursos hídricos.

2.5 O *VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS* - VBA

O *Visual Basic for Applications* (VBA) é uma implementação do Visual Basic da Microsoft incorporada em todos os programas do Microsoft Office: Word, Excel, Access, Outlook, PowerPoint e FrontPage; e também em outros softwares, tais como Visio e AutoCAD.

Para utilizar esta tecnologia são necessários os conhecimentos de sua estrutura, sintaxe e recursos, para então estar capacitado a criar aplicações. O VBA utiliza linguagem em inglês, portanto, todos seus comandos são dados neste idioma. Nos itens a seguir são apresentadas algumas noções da linguagem Visual Basic e como é a interação ao Excel®.

2.5.1 Estrutura do Excel ligada ao VBA

No universo do VBA do Excel (Macros) existe um vocabulário (terminologia) a ser adotado, de modo que todos que leiam o código possam entender o que foi feito. Isto ocorre em qualquer linguagem de programação. Alguns dos termos são bem conhecidos, como objetos, procedimentos, funções e requerem poucas explicações. Outros, como as macros ou módulos, exigem definições.

Macro, em termos de programação, é uma abstração que define como um padrão de entrada deve ser substituído por um padrão de saída de acordo com um conjunto de regras. (Office, 2015). Desta maneira, esta estrutura permite a realização de tarefas repetitivas previamente programadas, realizadas de maneira ágil e menos propensa a ocorrência de erros (GREENWALD, MAUREEN, 1959).

As macros são uma série de passos que se armazenam e que podem ser ativados com alguma tecla de controle (Ctrl) mais uma letra. Essa macro é uma série de instruções escritas em forma de programação que facilita atividades cotidianas ou repetitivas. Como no caso desse trabalho, realizar diversas simulações com cenários diferentes.

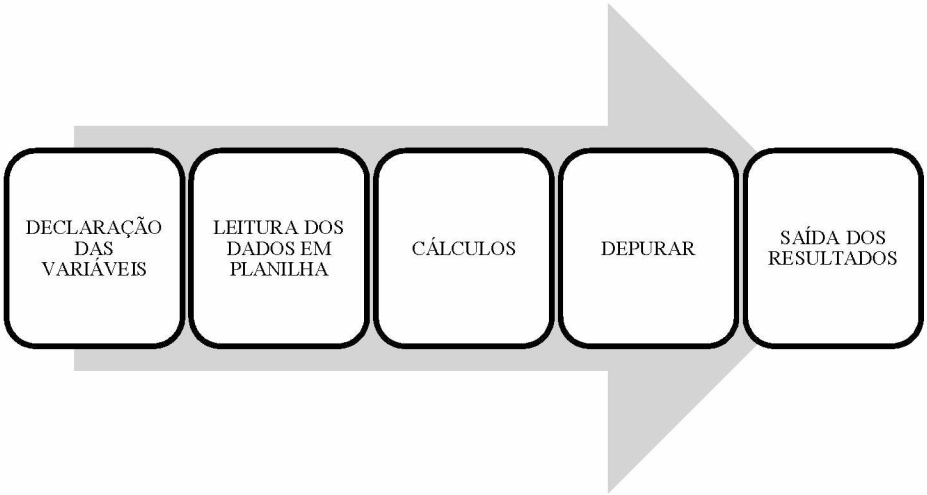
O local onde é feita a programação ou automatização do problema (macros) é chamado módulo, um editor de operações estruturadas que conduzem à solução do problema. Essas operações estruturadas são os algoritmos, ou sequência de instruções ou também códigos com a sequência de leituras e cálculos.

2.5.2 Sequência de programação no VBA

A macro elaborada deve procurar sempre seguir uma sequência, ser lógica e organizada para que a procura por erros e elementos seja facilitada. Nessa linha, inclusive, deve permitir que outro usuário leia e entenda a macro e sua sequência de cálculo. Os passos são ilustrados no fluxograma representado na Figura 4.

A declaração das variáveis consiste em relacionar as variáveis utilizadas na macro com seu tipo de variável (inteira, real, etc.). A leitura dos dados da planilha consiste em dar um "endereço" para os dados na planilha do Excel®, ou seja, fornecer qual linha e coluna que deve ser feita a leitura. Em seguida são feitos os cálculos do problema, com suas equações e funções. Após todo o código escrito, é comum pressionar o botão intitulado "depurar", que pesquisa em qual linha do código pode haver um problema como, por exemplo, uma vírgula em lugar de ponto, ou algum contador que não esteja bem descrito. A última parte é caracterizada pelo lançamento dos resultados em locais previamente estipulados na planilha, especificamente nas células.

Figura 4 – Sequência de elaboração de uma macro



Fonte: Autora (2016)

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

Para o correto desenvolvimento de uma ferramenta computacional de qualidade de água em ambiente lótico é necessário conhecer, além de uma linguagem de programação, diversos conceitos e equações matemáticas que governam o processo de autodepuração, tais como: características e equacionamentos hidráulicos, equacionamento da advecção-difusão que governa o comportamento do poluente na massa líquida e equacionamentos dos processos físicos, químicos e biológicos para os diversos parâmetros de qualidade de água.

3.1 O MANUAL

A ferramenta computacional QUALI-TOOL permite a simulação da qualidade de água em ambiente lótico em escala local (apenas trechos de rio) e em escala de bacia hidrográfica com limitação de 15 tributários (afluentes) no rio principal. Foi desenvolvida pelo grupo de pesquisa da área de recursos hídricos e saneamento ambiental do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC da Universidade Federal de Uberlândia - UFU.

O objetivo principal no desenvolvimento desta ferramenta computacional é auxiliar alunos de graduação e pós-graduação das diversas áreas de conhecimento no entendimento dos processos físicos, químicos e biológicos dos diversos parâmetros de qualidade de água em ambiente natural lótico, considerando entradas pontuais e difusas de cargas poluidoras e retiradas pontuais consuntivas e não consuntivas. Esta primeira versão de QUALI-TOOL não considera a interação das águas superficiais com as subterrâneas.

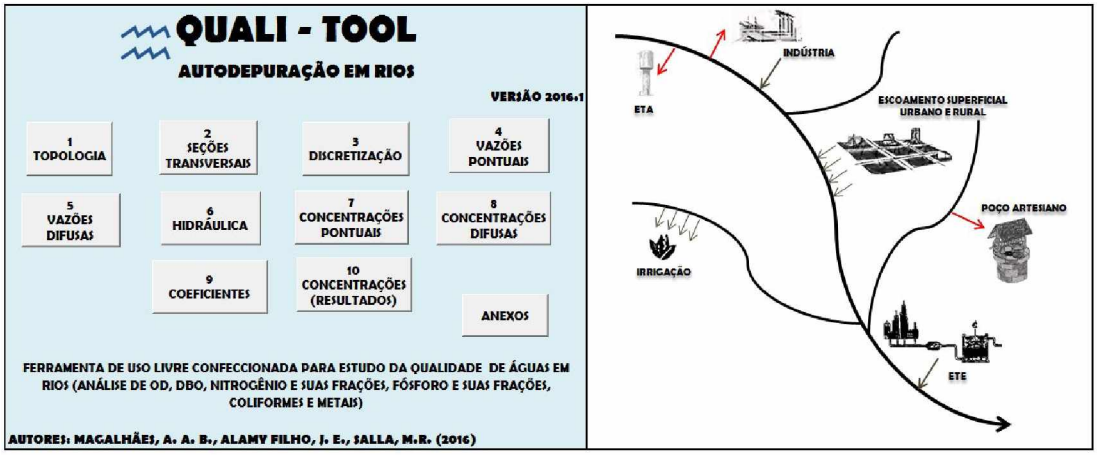
O usuário define quais parâmetros de qualidade da água pretende modelar a partir da necessidade particular da área de estudo. Dependendo do nível de precisão requerido para os processos envolvidos, esta ferramenta computacional de uso livre tem potencial para aplicação em trabalhos técnicos de consultoria na área ambiental. O usuário poderá baixar o executável do QUALIT-TOOL, o manual do usuário, o vídeo-tutorial e o exemplo prático no link www.feciv.ufu.br/ppgec/quali_tool.

3.2 INTERFACE QUALI-TOOL

Esta 1ª versão da ferramenta computacional QUALI-TOOL foi desenvolvida para simulações da qualidade de água em ambiente lótico dos seguintes parâmetros de qualidade da água: contaminantes arbitrários (sólidos suspensos, por exemplo - o usuário pode escolher um outro parâmetro como arbitrário), Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), ciclo do Nitrogênio (nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato), Fósforo total, coliforme fecal *Escherichia Coli* (*E-coli*) e metais pesados.

Na tela principal da ferramenta é relacionada a ordem de lançamento dos dados para a melhor utilização da ferramenta QUALI-TOOL, conforme ilustra a Figura 5. As planilhas denominadas topologia, discretização, hidráulica e concentrações (resultados) são planilhas de cálculo. Já as planilhas denominadas seções transversais, vazões pontuais, vazões difusas, concentrações pontuais, concentrações difusas e coeficientes são planilhas de cadastro, nas quais o usuário deve fornecer os dados de entrada e informar o que deseja modelar. Como exemplo, caso não interesse ao usuário simular o parâmetro *E-coli*, basta que valores não sejam inseridos nas células de entrada ("vazio").

Figura 5 – Tela principal da ferramenta computacional QUALI-TOOL



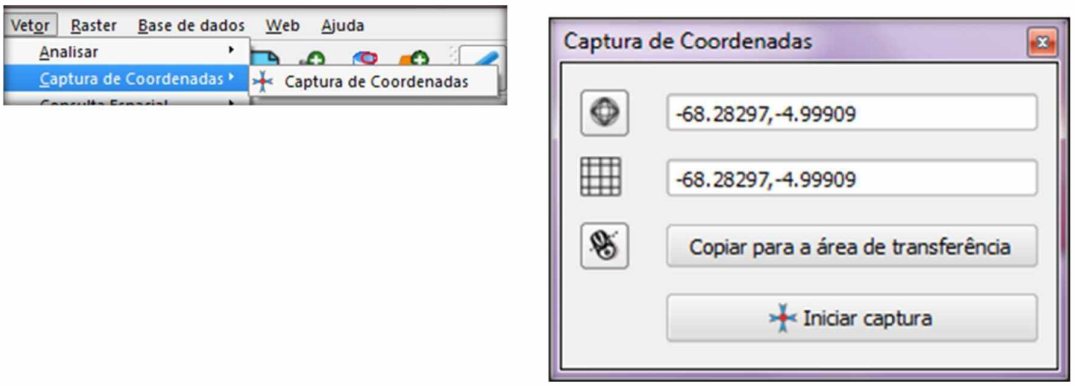
Fonte: Autora (2017)

Em todas as planilhas mencionadas anteriormente, os dados de entrada são formatados na cor preta, enquanto os dados calculados pela ferramenta QUALI-TOOL são formatados na cor azul.

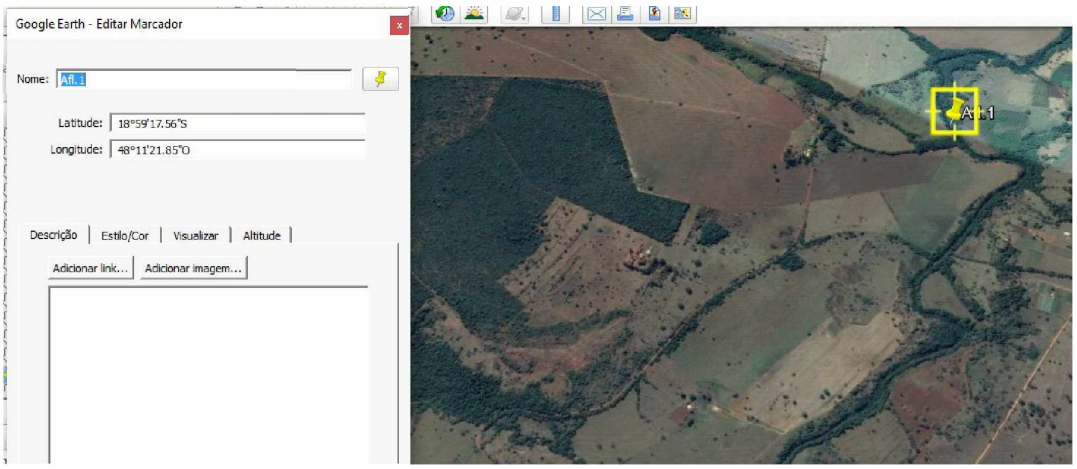
3.3 TOPOLOGIA DO SISTEMA HÍDRICO

Na seção "topologia", o usuário deve inserir todas as informações do rio principal e de seus tributários que serão analisados. As informações iniciais são: coordenadas X (leste – oeste) em metros; Y (norte – sul) em metros e também Z em metros, que representa a cota do terreno. Como exemplo, essas coordenadas em UTM (*Universal Transversa de Mercator*) podem ser obtidas no Google Earth® ou por meio de uma ferramenta SIG, como QGis®, conforme ilustra a Figura 6.

Figura 6 – Captura das coordenadas em: (a) QGis®; (b) Google Earth®



(a)



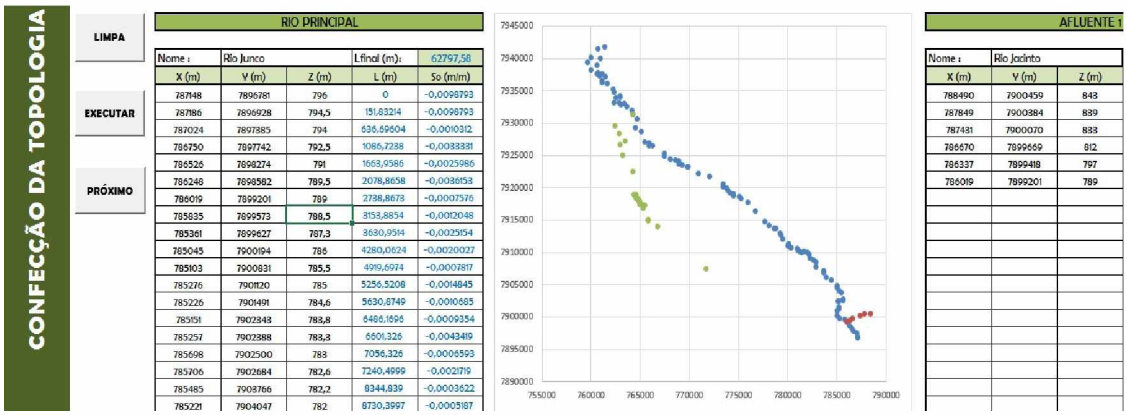
(b)

Fonte: QGis (2017) e Google Earth (2017)

Ao final do preenchimento de todos os dados do rio principal e tributários, o usuário deve pressionar o botão "EXECUTAR", assim o programa calculará o comprimento do rio, em metros, a declividade, em metros por metros, conforme ilustra a Figura 7. Entre o lançamento do rio principal

e os seus afluentes, o usuário poderá observar no gráfico das coordenadas lançadas e verificar se está coerente com o real. Esta versão da ferramenta computacional QUALI-TOOL limita o máximo de 15 tributários para o rio principal.

Figura 7 – Tela de lançamento dos dados da topologia do sistema hídrico



Fonte: Autora (2017)

3.3.1 Fundamentação teórica

Para o traçado de qualquer trecho de rio deve-se incluir as coordenadas UTM X (leste-oeste) em metros, UTM Y (norte-sul) em metros e UTM Z (cota) em metros.

Verifica-se na Figura 8(a) que a distância L entre os pontos A e B é a hipotenusa do triângulo retângulo, que pode ser calculada aplicando o Teorema de Pitágoras. Com o auxílio da Álgebra e de conhecimentos geométricos pode-se generalizar e construir uma fórmula que determine a distância entre dois pontos no plano, conhecendo suas coordenadas, conforme exemplifica a Equação 4.

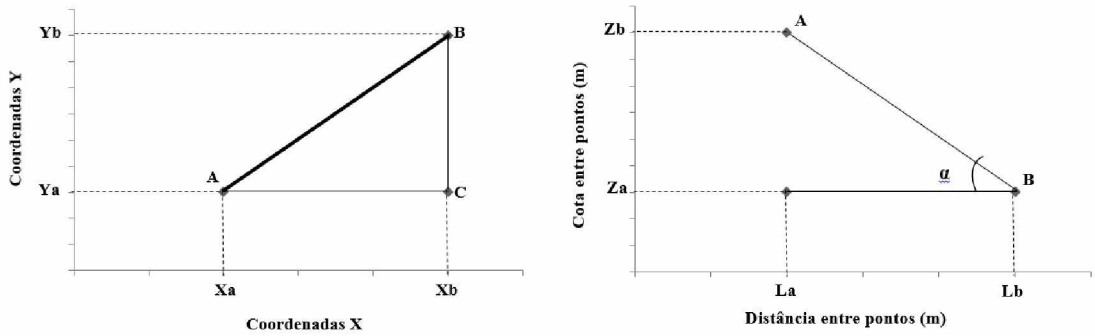
Cateto BC: Yb – Ya

Cateto AC: Xb – Xa

Hipotenusa AB = distância (L)

$$L = \sqrt{(Yb - Ya)^2 + (Xb - Xa)^2} \quad (4)$$

Figura 8 – Cálculo entre coordenadas: (a) da distância; (b) da declividade



(a) (b)

Fonte: Autora (2017)

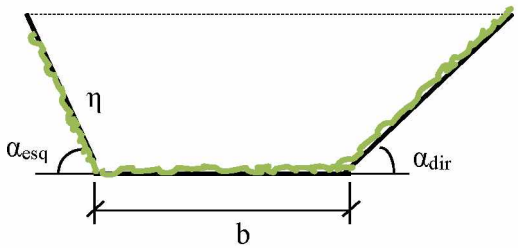
Para o cálculo da declividade entre os pontos A e B, conforme ilustra a Figura 8(b), calcula-se a tangente do ângulo α, conforme mostra a Equação 5.

$$S_o = \tan(\alpha) = \frac{Z_b - Z_a}{L_b - L_a} \quad (5)$$

3.4 SEÇÕES TRANSVERSAIS

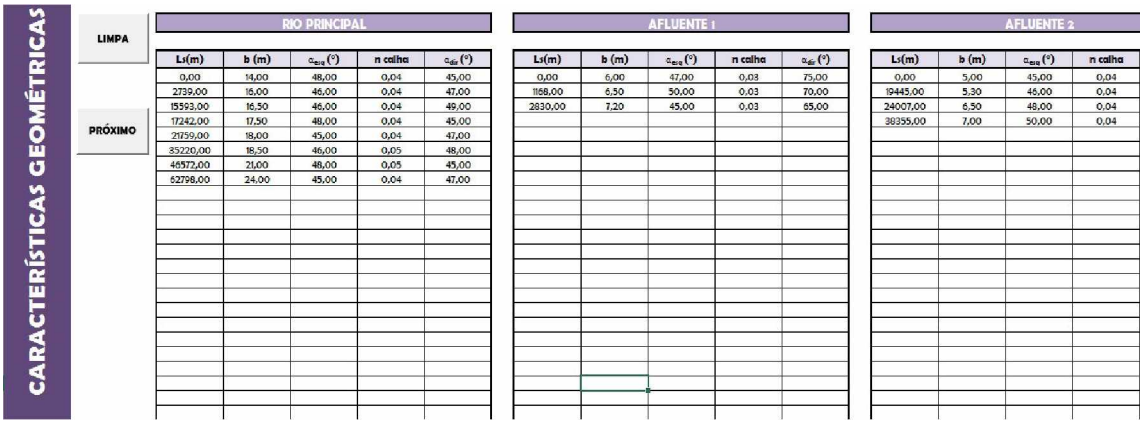
Na aba "Seções transversais" o usuário deverá, ao longo de todo comprimento do curso de água (rio principal, afluente 1, afluente 2...), inserir os dados hidráulicos e geométricos da seção transversal, tais como: comprimento L (o mesmo calculado na equação 1) do trecho com as mesmas características hidráulicas e geométricas a partir do ponto inicial de simulação (metros); valor da largura de base b para o trecho (metros); rugosidade da calha principal do rio η para o trecho; ângulos (em graus) dos taludes esquerdo (α_{esq}) e direito (α_{dir}) para o trecho. A Figura 9 traz o esquema de uma seção transversal genérica utilizada pela ferramenta. Já a Figura 10 ilustra o lançamento de dados na aba "Seção transversal".

Figura 9 – Seção transversal genérica utilizada pela ferramenta computacional QUALI-TOOL



Fonte: Autora (2017)

Figura 10 – Lançamento dos dados na aba “Seção transversal”



Ls(m)	b (m)	α_{esq} (°)	n calha	α_{dir} (°)
0,00	14,00	48,00	0,04	45,00
2739,00	16,00	46,00	0,04	47,00
15593,00	16,50	46,00	0,04	49,00
17242,00	17,50	48,00	0,04	45,00
21759,00	18,00	45,00	0,04	47,00
35220,00	18,50	46,00	0,05	48,00
46572,00	21,00	48,00	0,05	45,00
62798,00	24,00	45,00	0,04	47,00

Ls(m)	b (m)	α_{esq} (°)	n calha	α_{dir} (°)
0,00	6,00	47,00	0,03	75,00
1168,00	6,50	50,00	0,03	70,00
2830,00	7,20	45,00	0,03	65,00

Ls(m)	b (m)	α_{esq} (°)	n calha
0,00	5,00	45,00	0,04
19445,00	5,30	46,00	0,04
24007,00	6,50	48,00	0,04
30355,00	7,00	50,00	0,04

Fonte: Autora (2017)

A Tabela 2 traz alguns dos principais valores de referência para os coeficientes de rugosidade de Manning em canais naturais e artificiais (PORTO, 1998). A literatura traz diversas outras referências sobre o tema.

Tabela 2 Coeficientes de rugosidade de Manning

Natureza das paredes	Condições			
	Muito boa	Boa	Regular	Má
Calhas metálicas lisas (semicirculares)	0.011	0.012	0.013	0.015
Canais abertos em rocha (irregular)	0.035	0.040	0.045	-
Canais com fundo em terra e talude com pedras	0.028	0.030	0.033	0.035
Canais com leito pedregulhoso e talude vegetado	0.025	0.030	0.035	0.040
Canais com revestimento de concreto	0.012	0.014	0.016	0.018
Canais de terra (retilínios e uniformes)	0.017	0.020	0.023	0.025
Canais dragados	0.025	0.028	0.030	0.033
Condutos de barro (drenagem)	0.011	0.012	0.014	0.017
Condutos de barro vitrificado (esgoto)	0.011	0.013	0.015	0.017
Gabião	0.022	0.030	0.035	-
Superfícies de argamasse de cimento	0.011	0.012	0.013	0.050
Superfícies de cimento alisado	0.010	0.011	0.012	0.030
Córregos e rios limpos, retilínios e uniformes	0.025	0.028	0.030	0.033
Córregos e rios limpos, retilínios e uniformes com pedras e vegetação	0.030	0.033	0.035	0.040
Córregos com meandros, bancos e poços, limpos	0.035	0.040	0.045	0.050
Margens espraiadas, pouca vegetação	0.050	0.060	0.070	0.080
Margens espraiadas, muita vegetação	0.075	0.100	0.125	0.150

Fonte: Adaptado de Porto (1998)

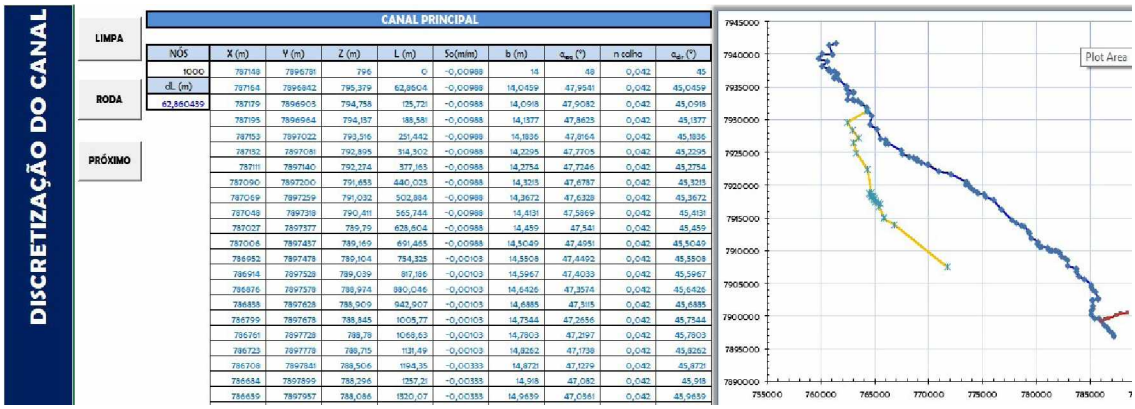
Após o lançamento dos dados na janela “Seção transversal”, o usuário irá para a próxima etapa, pressionando o botão “PRÓXIMO” (ver a Figura 10), que abrirá uma janela referente à aba “Discretização”.

3.5 DISCRETIZAÇÃO

Na área de modelagem matemática, discretizar significa dividir ou particionar um todo (distância, tempo...) em partes menores, o que otimiza a solução numérica pelo Método de Elementos Finitos (MEF) na ferramenta QUALI-TOOL. Nesta seção da ferramenta computacional, o usuário deve escolher a quantidade de nós que fará parte da malha discretizada, sabendo que quanto maior o número de nós escolhidos, menor o valor do intervalo de comprimento e melhor serão os resultados obtidos. Porém, quanto maior o número de nós mais lento será o processamento computacional para o cálculo matemático.

Após aberta a aba “Discretização”, o usuário deve apenas digitar na célula correspondente o número de nós desejado e clicar no ícone “RODA” para que os cursos de água sejam discretizados (ver Figura 11). Ainda na Figura 11, cada trecho discretizado traz informações das coordenadas UTM (m), comprimento linear L (m), declividade de fundo So (m/m), largura de base b (m), ângulos dos taludes esquerdo α_e e direito α_d (º) e coeficiente de rugosidade de Manning η (adimensional).

Figura 11 – Janela da aba “Discretização”



Fonte: Autora (2017)

Após o lançamento dos dados na janela "Discretização", o usuário irá ir para a próxima etapa, pressionando o botão "PRÓXIMO" (ver Figura 11), que abrirá a janela referente às "Vazões pontuais".

3.5.1 Fundamentação teórica

A ferramenta computacional QUALI-TOOL utiliza o Método de Elementos Finitos (MEF) para a solução de equações matemáticas que descrevem fenômenos físicos em engenharia, como neste caso, o escoamento líquido em canal natural. De maneira simples, o MEF consiste na divisão do domínio em um número finito de pequenas regiões denominadas de 'elementos finitos'.

Um problema central ao MEF é a fragmentação de cada variável que caracteriza o escoamento líquido em inúmeros trechos discretizados. O argumento básico é que, para a análise mais correta possível, devem ser escolhidas as menores dimensões destas variáveis. Conforme já mencionado anteriormente, esta ferramenta discretiza as seguintes variáveis: coordenadas X, Y e Z (m); comprimento do rio L (m); declividade do rio So (m/m); largura de base b (m); ângulos dos taludes da margem esquerda e direita (graus), α_e e α_d, respectivamente; coeficiente de rugosidade de Manning η (adimensional).

Na primeira etapa da discretização, estipula-se o número finito de células em que o intervalo será subdividido. O termo discretização é usado justamente porque passa-se de um meio contínuo (neste caso o curso de água, com uma reunião infinita de pontos) para um conjunto discreto (com uma reunião definida de intervalos). Em cada um destes intervalos aproxima-se a função original por um segmento de reta (GIACCHINI, 2012).

Evidentemente, quanto menor o comprimento do intervalo, mais a função se aproxima da original. Após estipular o número de células (pontos ou nós), determina-se o tamanho do intervalo dL, calculado conforme a Equação 6.

$$dL = \frac{L_{total}}{Nc-1} \tag{6}$$

Na qual: dL é o comprimento de cada trecho do rio discretizado, em metros; L_{total} é o comprimento total do rio, em metros; Nc é o número de nós ou pontos estipulados pelo usuário. Para

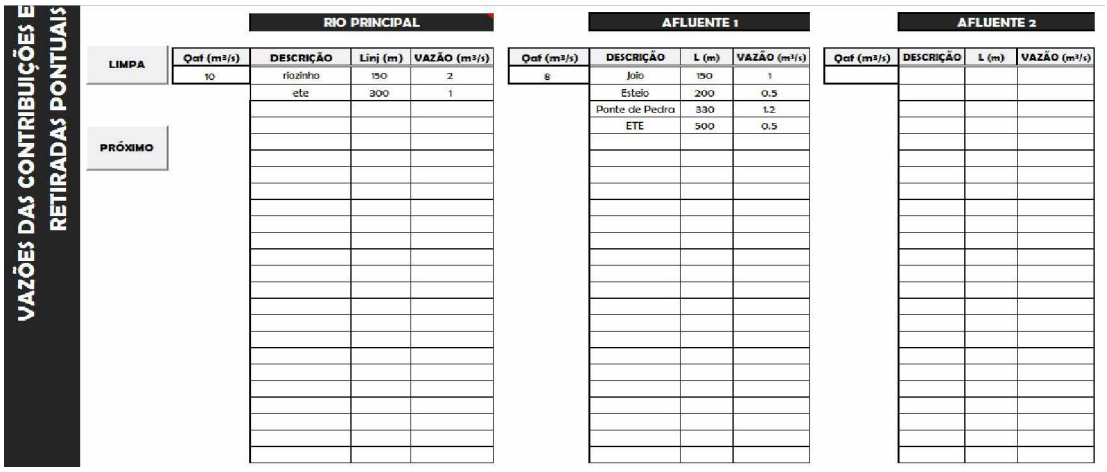
o melhor entendimento da equação (6), um curso de água com 1000 m de comprimento e com 5 trechos discretizados de 200 m, possui 6 nós ou pontos.

3.6 VAZÕES PONTUAIS

Na aba "Vazões pontuais" o usuário deve descrever e relacionar todos os lançamentos pontuais e retiradas pontuais no curso de água principal e em seus tributários, incluindo o comprimento (em metros) e o valor da vazão (em m³/s) a partir do início do rio em que ocorrem essas injeções ou retiradas. O valor negativo para a vazão significa retirada pontual de água (irrigação, dessedentação, abastecimento público, etc.), enquanto que o valor positivo para a vazão significa lançamento pontual no curso de água (afluente ou tributário, despejo de efluente sanitário, etc.). A Figura 12 ilustra a aba "vazões pontuais".

Ainda na Figura 12, na célula correspondente a Qaf (m³/s), o usuário deverá fornecer o valor da vazão no ponto inicial da simulação, tanto no rio principal quanto em seus. O usuário *não* deve relacionar as vazões dos afluentes no rio principal. A ferramenta o faz automaticamente. Após o lançamento de entradas e retiradas de vazão em todos os tramos, o usuário irá para a próxima etapa, pressionando o botão "PRÓXIMO" (ver Figura 12), que abrirá uma janela para incluir os dados de vazões difusas.

Figura 12 - Janela da aba "Vazões pontuais"



Fonte: Autora (2017)

3.7 VAZÕES DIFUSAS

Da mesma forma descrita no item "vazões pontuais", o usuário deve descrever e relacionar todos os lançamentos e retiradas difusas em todos os trechos da topologia, informando o comprimento (em metros) e o valor da vazão (em m³/s.m) a partir do início do rio em que iniciam e finalizam essas injeções ou retiradas.

O valor negativo para a vazão significa retirada difusa de água do curso de água (interface com lençol freático, por exemplo), enquanto que o valor positivo para a vazão significa lançamento difuso no curso de água (carreamento superficial de nutrientes em função de evento chuvoso, por exemplo). A Figura 13 ilustra a aba "vazões difusas".

Figura 13 – Janela da aba "Vazões difusas"

Fonte: Autora (2017)

Após o lançamento de entradas e retiradas difusas de vazão no rio principal e nos afluentes, o usuário irá para a próxima etapa, pressionando o botão "PRÓXIMO" (ver Figura 13), que abrirá uma janela referente à aba "Hidráulica".

3.8 HIDRÁULICA DE CANAIS

Após aberta a aba "Hidráulica", o usuário pressiona o botão "1ª PARTE VAZÕES" (ver Figura 14) para geração dos dados hidráulico: vazão (m³/s), ângulos do talude esquerdo e direito em radianos em função do comprimento do rio (m). Na sequência, o usuário deve pressionar o botão "2ª PARTE SOLVER". Este botão executa a macro que utiliza o complemento Solver do Excel para calcular a profundidade, em metros. Para saber se foi executado corretamente, os

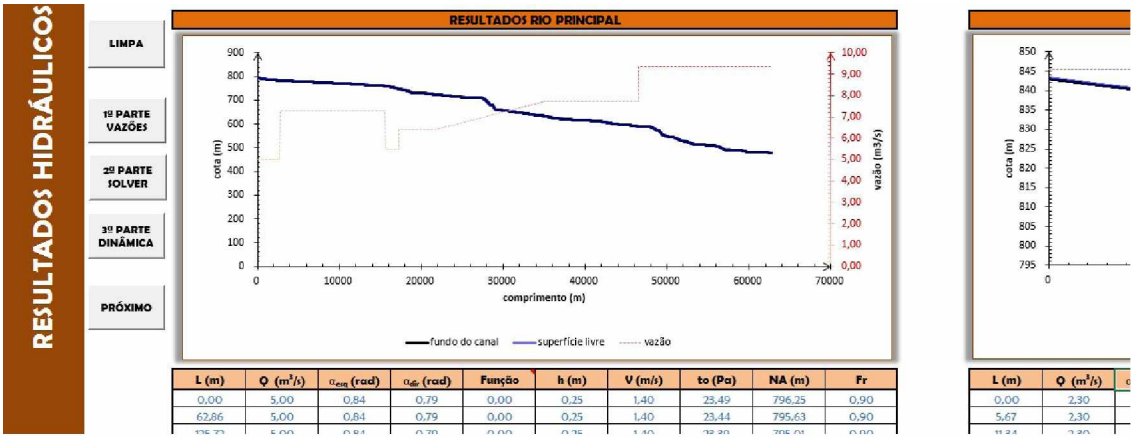
valores na coluna “Função” têm que ser iguais a 0 (zero). É importante que nas colunas “Função” sempre esteja inserida a Equação 4. Caso o usuário limpe a planilha, basta copiar a Equação 7 na coluna G e ajustar para os afluentes (ver Figura 14)

=((1/DISCRETIZAÇÃO!K5)*((2*DISCRETIZAÇÃO!I5+(HIDRÁULICA!H5/TAN(HIDRÁULICA!E5))+(HIDRÁULICA!H5/TAN(HIDRÁULICA!F5)))*H5/2)*(((2*DISCRETIZAÇÃO!I5+(HIDRÁULICA!H5/TAN(HIDRÁULICA!E5))+(HIDRÁULICA!H5/TAN(HIDRÁULICA!F5)))*H5/2)/(H5/SIN(E5)+H5/SIN(F5)+DISCRETIZAÇÃO!I5)^(2/3))*(DISCRETIZAÇÃO!H5*(-1))^(1/2))-HIDRÁULICA!D5 (7)

A Equação 7 representa a equação de Manning, onde os termos geométricos e hidráulicos são agrupados no mesmo lado da equação. Nesta equação, a única incógnita da função é a profundidade líquida. Ou seja, a função representada pelo termo geométrico ($A \times Rh^{2/3}$) subtraído do termo hidráulico $(Q \times \eta)/I_o^{1/2}$ é igual a zero (função igual a zero) (A é a seção transversal, em m^2; Rh é o raio hidráulico, em m; Q é a vazão, em m^3/s; η é o coeficiente de rugosidade de Manning, $m^{-1/3}.s$; I_o é a declividade longitudinal de fundo, m/m).

Na terceira parte dos cálculos hidráulicos, o usuário deve pressionar o botão “3ª PARTE DINÂMICA”, a qual calcula as velocidades de escoamento (m/s), a tensão cisalhante (kPa), o nível de água (m) e o número de Froude.

Figura 14 – Janela da aba “Hidráulica”



Fonte: Autora (2017)

Também são gerados gráficos representativos do fundo do canal (linha preta contínua), dos pontos amostrais do fundo do canal (círculos), da superfície líquida (linha azul contínua) e, por fim, da vazão ao longo do rio (linha vermelha tracejada), conforme ilustra a Figura 14. Ainda na Figura 14, focando-se no perfil de vazão, observa-se que, nos pontos em que há lançamentos

pontuais, a vazão aumenta de forma acentuada, enquanto que o crescimento da vazão segue uma linha suave crescente nos trechos com lançamentos difusos. Estes resultados também são gerados para os tributários modelados.

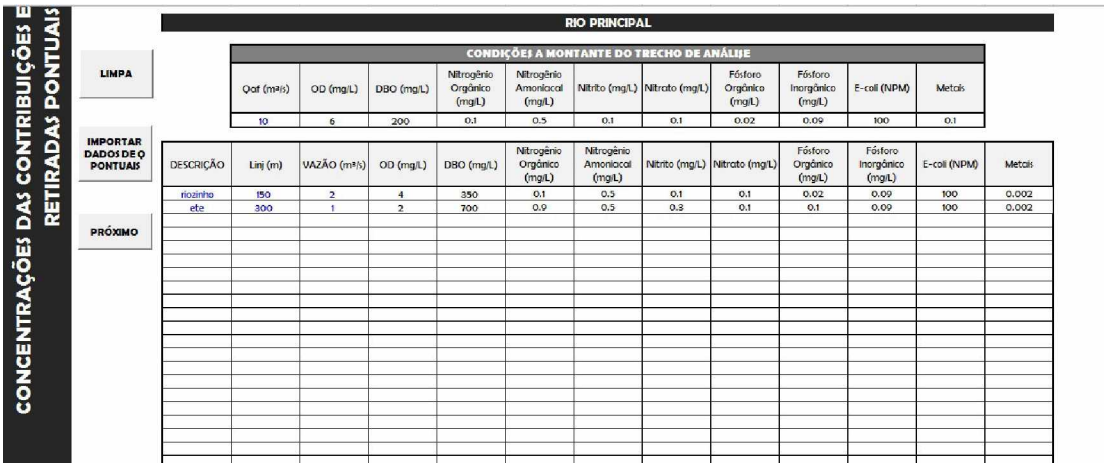
Após a geração dos resultados hidráulicos, o usuário irá para a próxima etapa pressionando o botão "PRÓXIMO" (ver Figura 14), que abrirá uma janela referente à aba "Concentrações pontuais".

3.9 CONCENTRAÇÕES PONTUAIS

O procedimento para preenchimento dos dados de entrada na aba "Concentrações pontuais" é similar ao anteriormente descrito para "Vazões pontuais". De acordo com a Figura 15, nas células correspondentes a "Descrição", "Linj" (m), "Qaf "(m^3/s) e "Vazão" (m^3/s), a ferramenta computacional QUALI-TOOL busca automaticamente os valores anteriormente preenchidos na aba "Vazões pontuais" (verifique que os caracteres estão na cor azul) apenas com um click em "Importar dados de Q pontuais".

Como dado de entrada, o usuário deve apenas informar os valores das concentrações dos diversos parâmetros de qualidade de água (em mg/L), em todos os lançamentos pontuais, no curso de água principal e em seus tributários (ver Figura 15). Quando a vazão em questão for referente à uma retirada, não é necessário informar os dados de concentração desta.

Figura 15 – Janela da aba "Concentrações pontuais"



Fonte: Autora (2017)

Após a finalização de lançamento de entradas pontuais de concentração no rio principal e nos tributários, o usuário deverá ir para a próxima etapa, pressionando o botão "PRÓXIMO" (ver Figura 15), que abrirá uma janela para incluir os dados de entrada das concentrações difusas.

3.10 CONCENTRAÇÕES DIFUSAS

O procedimento para preenchimento dos dados de entrada na aba "Concentrações difusas" é similar ao anteriormente descrito para "Vazões difusas". De acordo com a Figura 16, nas células correspondentes a "Descrição", "$L_{inicial}$" (m), "L_{final}" (m) e "Vazão" (m^3/s), a ferramenta QUALI-TOOL busca automaticamente os valores anteriormente preenchidos na aba "Vazões difusas" (verifique que os caracteres estão na cor azul) apenas com um click em "Importar dados de Q difusas".

Figura 16 – Janela da aba "Concentrações difusas"

CONTRIBUIÇÕES E RETIRADAS DIFUSAS

LIMPA

IMPORTAR DADOS DE Q DIFUSAS

PRÓXIMO

CONTRIBUIÇÕES E RETIRADAS DIFUSAS DO RIO PRINCIPAL

DESCRIÇÃO	L inicial (m)	L final (m)	VAZÃO (m³/s)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Fósforo Orgânico (mg/L)	Fósforo Inorgânico (mg/L)	E-coli (NPM)	Metais
d1	100	300	0.01	4	350	0.1	0.5	0.1	0.1	0.02	0.09	100	0.002
d2	500	700	0.01	4	350	0.1	0.5	0.1	0.1	0.02	0.09	100	0.002

Fonte: Autora (2017)

Como dado de entrada, o usuário deve apenas informar os valores das concentrações dos diversos parâmetros de qualidade de água (em mg/L), em todos os lançamentos pontuais, no curso de água principal e em seus afluentes (ver Figura 16). Quando a vazão em questão for referente à uma retirada difusa, não é necessário informar os dados de qualidade (concentrações).

Após a finalização de lançamento de entradas difusas de concentração em todos os trechos, o usuário irá para a próxima etapa, pressionando o botão "PRÓXIMO" (ver Figura 16), que abrirá uma janela para incluir os dados dos coeficientes.

3.11 COEFICIENTES

Na aba "Coeficientes" (ver Figura 17) o usuário cadastra todos os coeficientes, velocidades de sedimentação e cargas por área pertencentes às equações matemáticas que representam o termo fonte na equação de difusão-advecção. A Tabela 3 relaciona os coeficientes, velocidades de sedimentação e cargas por área requeridos na ferramenta QUALI-TOOL, além do que traz os símbolos, sas unidades usuais e os parâmetros aos quais estão relacionados.

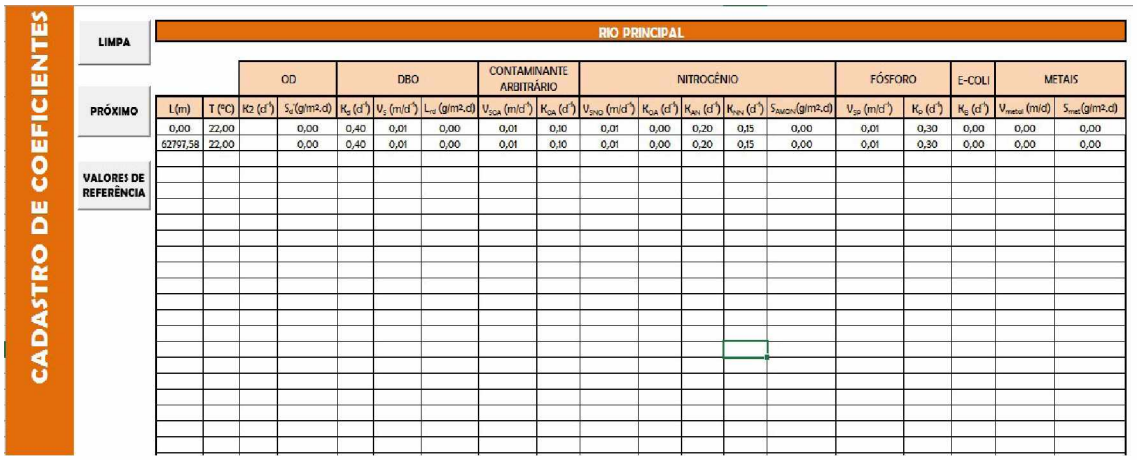
Tabela 3 - Coeficientes, velocidades de sedimentação e cargas por área utilizados em QUALI-TOOL

Descrição	Símbolo QUALI-TOOL	Unidade	Inserido na Modela-gem
Coeficiente de reaeração	K_2	d^{-1}	OD
Demanda bentônica de oxigênio	Sd'	$g/m^2.d$	OD
Coeficiente de decomposição da matéria orgânica carbo-nácea	K_d	d^{-1}	DBO, OD
Velocidade de sedimentação da matéria orgânica carbo-nácea	V_{SMO}	m/d	DBO
Carga difusa de DBO sem incremento de vazão	L_{rd}	$g/m^2.d$	DBO
Velocidade de sedimentação do contaminante arbitrário	V_{SCA}	m/d	Sólidos Suspensos
Ressurgimento de fundo dos contaminantes arbitrários	S_{CA}	$g/m^2.d$	Sólidos Suspensos
Velocidade de sedimentação do nitrogênio orgânico	V_{SNO}	m/d	Nitrogênio orgânico
Coeficiente de conversão de nitrogênio orgânico em amônia	Koa	d^{-1}	Nitrogênio orgânico e amônia
Coeficiente de conversão de amônia em nitrito	Kan	d^{-1}	Amônia e nitrito
Coeficiente de conversão de nitrito a nitrato	Knn	d^{-1}	Nitrito e nitrato
Carga liberada de amônia pelo sedimento de fundo	Samon	$g/m^2.d$	Amônia
Velocidade de sedimentação do fósforo	V_{SP}	m/d	Fósforo
Coeficiente de decaimento do fósforo	K_P	d^{-1}	Fósforo
Coeficiente de decaimento bacteriano	Kb	d^{-1}	Coliformes fecais (*E-coli*)
Coeficiente de decaimento dos metais	K_{metal}	d^{-1}	Metais pesados
Carga liberada de metal pelo sedimento de fundo	Smetal	$g/m^2.d$	Metais pesados

Fonte: Autora (2017)

De acordo com a Figura 17, o usuário pode utilizar um valor único em todo o trecho de rio estudado para a temperatura da água, coeficientes, velocidade de sedimentação e cargas por área. Pode também discretizar por trechos, devendo apenas informar a distância de início e final em que os valores são mantidos fixos.

Figura 17 – Lançamento dos coeficientes



Fonte: Autora (2017)

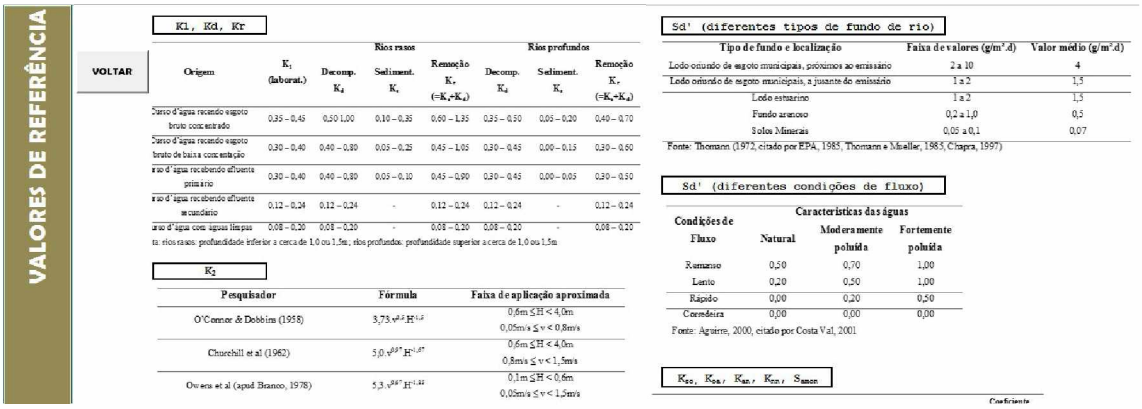
Existem duas opções para alimentar os valores de temperatura da água, dos coeficientes, velocidade de sedimentação e cargas por área, que são:

a) quando a simulação do comportamento dos diversos parâmetros de qualidade da água for realizada a partir de coeficientes, velocidade de sedimentação e cargas por área da literatura, o usuário deve consultar o item ANEXOS, pressionando o botão "valores de referência" (ver Figura 17). O item ANEXOS está descrito em 3.13. Lá o usuário pode escolher o valor do coeficiente que mais se adequa à característica hidráulica do trecho de curso de água estudado. Todos os coeficientes da literatura são baseados na temperatura ambiente (20ºC). Neste caso, deve-se informar a temperatura da água (em ºC) para que, internamente, a ferramenta QUALITOOL corrija os valores destes coeficientes (ver a Figura 18).

Com relação ao coeficiente de reaeração k_2, o usuário também tem a opção de utilizar as equações analíticas apresentadas na Tabela 4. Para isso, as células referentes ao coeficiente k_2 devem ficar vazias (ver a Figura 17);

b) no caso da simulação em que se pretende calibrar os coeficientes, velocidades de sedimentação e cargas por área, o usuário deve introduzir os valores que proporcionam o melhor ajuste entre os dados dos parâmetros simulados e os monitorados em campo. Neste caso, deve manter a temperatura da água fixa em 20ºC em todos os trechos de rio.

Figura 18 - Valores de referência para os coeficientes.

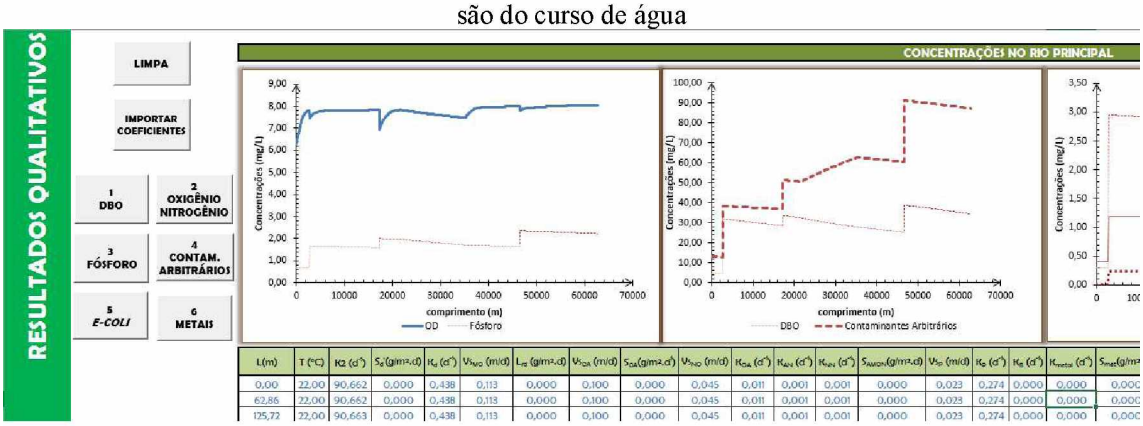


Fonte: Autora (2017)

3.12 CONCENTRAÇÕES (RESULTADOS)

A aba "Concentrações" ilustra os resultados qualitativos do estudo. Nas primeiras colunas são relacionados os coeficientes discretizados após o usuário pressionar o botão "IMPORTAR COEFICIENTES" (ver Figura 19). Nas colunas seguintes são relacionados os resultados das concentrações dos parâmetros de qualidade da água no rio principal e em seus afluentes. Para calcular os perfis dos diversos parâmetros, basta pressionar os botões dos ciclos de interesse no lado esquerdo da tela.

Figura 19 – Resultados, na ferramenta QUALI-TOOL, de OD e DBO mais vazão em função da extensão do curso de água



Fonte: Autora (2017)

Acima da planilha com os resultados, tem-se os gráficos que relacionam, ao longo do comprimento do curso de água, os perfis de vazão e concentrações dos parâmetros na seguinte ordem: OD e Fósforo Total; DBO e Contaminantes Arbitrários; Nitrogênio e Suas Frações; E-coli e

Metais. O usuário pode escolher simular apenas alguns parâmetros, como OD e DBO por exemplo, apenas clicando nos botões 1 e 2 (ver os botões na Figura 19). A Figura 19 ainda traz os gráficos de OD/fósforo/vazão e DBO/Contaminante arbitrário/vazão em função da extensão do curso de água.

3.13 ANEXOS

Nesta aba, redirecionada da aba 'coeficientes', o usuário pode consultar os valores dos coeficientes da literatura. As Tabelas 4 a 9 ilustram os valores de referência dos coeficientes a 20ºC (VON SPERLING, 2005), que podem ser utilizados como referência.

Na ferramenta QUALI-TOOL, o processo de sedimentação é modelado através da velocidade de sedimentação (Vs). Para encontrar essa variável, basta dividir a velocidade de sedimentação pela profundidade líquida no curso de água.

Tabela 4 - Valores típicos dos coeficientes de remoção de DBO (K_1, K_d, K_s e K_r) (base e, 20ºC)

Origem	K_1 (laborat.)	Rios rasos			Rios profundos		
		Decomp. K_d	Sediment. K_s	Remoção K_r (=K_s+K_d)	Decomp. K_d	Sediment. K_s	Remoção K_r (=K_s+K_d)
Curso d'água recendo esgoto bruto concentrado	0,35 – 0,45	0,50 1,00	0,10 – 0,35	0,60 – 1,35	0,35 – 0,50	0,05 – 0,20	0,40 – 0,70
Curso d'água recendo esgoto bruto de baixa concentação	0,30 – 0,40	0,40 – 0,80	0,05 – 0,25	0,45 – 1,05	0,30 – 0,45	0,00 – 0,15	0,30 – 0,60
Curso d'água recebendo efluente primário	0,30 – 0,40	0,40 – 0,80	0,05 – 0,10	0,45 – 0,90	0,30 – 0,45	0,00 – 0,05	0,30 – 0,50
Curso d'água recebendo efluente secundário	0,12 – 0,24	0,12 – 0,24	-	0,12 – 0,24	0,12 – 0,24	-	0,12 – 0,24
Curso d'água com águas limpas	0,08 – 0,20	0,08 – 0,20	-	0,08 – 0,20	0,08 – 0,20	-	0,08 – 0,20

Nota: rios rasos: profundidade inferior a cerca de 1,0 ou 1,5m; rios profundos: profundidade superior a cerca de 1,0 ou 1,5m

Fonte: Von Sperling, 2005

Tabela 5 – Equações referentes ao coeficiente k_2 (20ºC)

Pesquisador	Fórmula	Faixa de aplicação aproximada
O'Connor & Dobbins (1958)	$3{,}73.v^{0,5}.H^{-1,5}$	$0{,}6m \leq H < 4{,}0m$ $0{,}05m/s \leq v < 0{,}8m/s$
Churchill et al (1962)	$5{,}0.v^{0,97}.H^{-1,67}$	$0{,}6m \leq H < 4{,}0m$ $0{,}8m/s \leq v < 1{,}5m/s$
Owens et al (apud Branco, 1978)	$5{,}3.v^{0,67}.H^{-1,85}$	$0{,}1m \leq H < 0{,}6m$ $0{,}05m/s \leq v < 1{,}5m/s$

Notas:

v: velocidade do curso d'água (m/s); H: altura da lâmina d'água (m)

Faixa de aplicabilidade adaptadas e modificadas de Covar (apud EPA, 1985), para efeito de simplicidade:

Tributários ($Q < 10m^3/s$ – equação de Owens et al): $K_2 = 15{,}98.Q^{-0,60}$

Rios principais ($Q > 10m^3/s$ – equação de O'Connor): $K_2 = 20{,}74.Q^{-0,42}$

Fonte: Von Sperling, 2005

Tabela 6 - Valores do coeficiente de demanda de oxigênio pelo sedimento S_d' para diferentes tipos de fundo de rio (20ºC)

Tipo de fundo e localização	Faixa de valores (g/m².d)	Valor médio (g/m².d)
Lodo oriundo de esgoto municipais, próximos ao emissário	2 a 10	4
Lodo oriundo de esgoto municipais, a jusante do emissário	1 a 2	1,5
Lodo estuarino	1 a 2	1,5
Fundo arenoso	0,2 a 1,0	0,5
Solos Minerais	0,05 a 0,1	0,07

Fonte: Thomann (1972, citado por EPA, 1985, Thomann e Mueller, 1985, Chapra, 1997)

Fonte: Von Sperling, 2005

Tabela 7 - Valores de Referência da demanda de oxigênio pelo sedimento S_d' para diferentes condições de fluxo do rio (20ºC)

Condições de Fluxo	Características das águas		
	Natural	Moderadamente poluída	Fortemente poluída
Remanso	0,50	0,70	1,00
Lento	0,20	0,50	1,00
Rápido	0,00	0,20	0,50
Corredeira	0,00	0,00	0,00

Fonte: Aguirre, 2000, citado por Costa Val, 2001

Fonte: Von Sperling, 2005

Tabela 8 - Valores de referência para a modelagem do nitrogênio (20°C)

Símbolo	Descrição	Unidade	Valores usuais do Coeficiente (20°C)	Coeficiente de temperatura θ (adimensional)
Kso	Coef. De sedimentação do N orgânico	d^{-1}	Remansos: 0,10 Rios lentos com águas naturais a moderadamente poluídas: 0,05 Rios lentos com águas fortemente poluídas: 0,10 Rios rápidos com águas naturais: 0,020 Rios rápidos com águas moderadamente poluídas: 0,050 Rios Rápidos com águas fortemente poluídas: 0,10 Corredeiras: 0,00	1,024
Koa	Coef. De conversão do N orgânico a amônia	d^{-1}	0,20 a 0,25	1,047
Kan	Coef. De conversão da amônia a nitrito	d^{-1}	0,15 a 0,25	1,080
Knn	Coef. De conversão de nitrito a nitrato	d^{-1}	Cursos d´água profundos: 0,10 a 0,50 Cursos d'água rados: 0,20 a 1,00	1,047
Samon	Fluxo de liberação de amônia pelo sedimento de fundo	$g/m^2.d$	0,00 a 0,50 (menores valores para rios limpos e rápidos)	1,074
fnitr	Fator de correção do coef. De nitritficação em função do OD	-	$fnitr = 1 - e^{-KnitrOD.OD}$	-
KnitrOD	Coef. De inibição da nitrificação por baixo OD	L/mg	0.60	-
RO_2Amon	Relação entre o oxigênio consumido por cada unidade de amônia oxidada a nitrito	mgO_2/mgN_{amon}	3.20	-
RO_2nitr	Relação entre o oxigênio consumido por cada unidade de nitrito oxidado a nitrato	mgO_2/mgN_{nitri}	1.10	-

Fonte: Autora (2016)

Tabela 9 Valores de referência da modelagem do Fósforo (20ºC)

Símbolo	Descrição	Unidade	Valores Intermediários do Coeficiente	Coeficiente de temperatura θ (adimensional)
K_{spo}	Coef. De sedimentação do P orgânico	d^{-1}	0,02 a 0.05	1,024
K_{oi}	Coef. De conversão do P orgânico a P inorgânico	d^{-1}	0,2 a 0,3	1,047

Fonte: Von Sperling, 2005

3.14 FÓRMULAS UTILIZADAS

Nesta seção verifica-se as fórmulas utilizadas nos cálculos quantitativos (hidráulicos) e qualitativos (concentrações) para elaboração da ferramenta QUALI-TOOL..

3.14.1 Hidráulica de rios

3.14.1.1 Cálculo da vazão

Na ferramenta QUALI-TOOL, o usuário fornece os dados de entrada de vazão, à montante do trecho de estudo e dos lançamentos no rio e em seus tributários. A ferramenta faz o balanço hídrico em cada trecho discretizado, baseado na análise das distâncias. Se a distância do determinado lançamento for maior que a distância do trecho discretizado em análise, as vazões não são acumuladas. Caso contrário, a ferramenta soma a vazão do lançamento à vazão do rio naquele trecho.

3.14.1.2 Nível líquido

A equação de Manning, descrita na Equação 8, considera o escoamento permanente e uniforme, partindo-se do princípio de que não existem variações da seção transversal, da declividade de fundo e da rugosidade de fundo e das paredes ao longo do curso de água em cada seção descrita ao longo do tempo.

$$Q = \frac{1}{\eta} \times A_m \times R_h^{2/3} \times S^{1/2} \tag{8}$$

Para a resolução na ferramenta QUALI-TOOL, os termos geométricos e hidráulicos são agrupados no mesmo lado da equação. Nesta equação, a única incógnita da função é a profundidade líquida. Ou seja, a função representada pelo termo geométrico ($A \times Rh^{2/3}$) subtraído do termo hidráulico $(Q \times \eta)/I_o^{1/2}$ é igual a zero (função igual a zero) (A é a seção transversal, em m^2; Rh é o raio hidráulico, em m; Q é a vazão, em m^3/s; η é o coeficiente de rugosidade de Manning, $m^{-1/3}.s$; I_o é a declividade longitudinal de fundo, m/m).

3.14.1.3 Velocidade média do escoamento

A velocidade média do escoamento é calculada através da equação da continuidade, conforme ilustra a Equação 9.

$$V = Q / A \tag{9}$$

Na qual: V é a velocidade média em m/s; Q é a vazão em m^3/s; A é a área molhada em m^2.

3.14.1.4 Tensão cisalhante (τ)

A tensão cisalhante é a tensão devida à viscosidade da água nas paredes laterais e no fundo do canal e é calculada pela Equação 10.

$$\tau = \gamma \times R_h \times S_0 \tag{10}$$

Na qual: γ é o peso específico da água em N/m^3, R_h é o raio hidráulico em metros e S_0 é a declividade do fundo do canal em m/m.

3.14.1.5 Número de Froude Fr

O número de Froude desempenha importante papel no estudo dos canais, permitindo definir os regimes de escoamento (subcrítico, supercrítico e crítico) e é calculado por meio da Equação 11.

O número de Froude é calculado através da Equação 7.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \times h}} \tag{11}$$

Na qual: V é a velocidade média do escoamento na seção (m/s); g é a aceleração da gravidade (m/s^2); h é a profundidade na seção (m).

3.14.2 EQUAÇÃO DE MISTURA

No início do segmento discretizado deve-se considerar a mistura entre o lançamento (esgoto, tributários, etc) e o rio estudado, cuja concentração da mistura é calculada por meio da Equação 12.

$$C_j = \frac{C_M \times Q_M + C_L \times Q_L}{Q_M + Q_L} \tag{12}$$

Na qual: C_j é a concentração de jusante ou da mistura (mg/L); C_M é a concentração de montante (mg/L); Q_M é a vazão de montante (m^3/s); C_L é a concentração do lançamento (mg/L); Q_L é a vazão do lançamento (m^3/s).

3.14.3 EQUAÇÃO DE ADVECÇÃO-DIFUSÃO

A fim de simular a dispersão, bem como quantificar e acompanhar a evolução ao longo do tempo dos parâmetros nos corpos hídricos, é utilizada a equação de difusão-advecção (COX, 2003 e BENEDINI, 2011), conforme ilustra a Equação 13.

$$\frac{\partial C}{\partial t}+u\frac{\partial C}{\partial x}+v\frac{\partial C}{\partial y}+w\frac{\partial C}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial x}\left(D_x\frac{\partial C}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(D_y\frac{\partial C}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(D_z\frac{\partial C}{\partial z}\right)\pm Fonte \qquad (13)$$

Na Equação 13, C é a concentração do parâmetro no tempo t; t é o tempo decorrido desde a zona de mistura entre o contaminante e o meio líquido (dia); D_x, D_y e D_z correspondem aos coeficientes de difusão turbulenta nas respectivas variáveis espaciais; u, v e w são as componentes do vetor velocidade nas direções x, y e z, respectivamente; Fonte é o termo fonte-sumidouro.

A equação considera os fenômenos de difusão (dispersão do poluente devido à diferença de concentração existente entre a carga poluidora e o corpo hídrico), advecção (transporte do poluente devido ao movimento natural da água do curso hídrico) e de decaimento ou acúmulo da massa de um parâmetro de qualidade da água ao longo do tempo, ocasionado por processos físicos, químicos e biológicos (CHAPRA, 1997; SILVINO, 2008).

Na modelagem de qualidade da água em ambiente lótico, algumas simplificações na equação de difusão-advecção são consideradas para agilizar a simulação, tais como: considera-se escoamento permanente (estado estacionário); considera-se escoamento unidirecional – apenas a direção longitudinal x (a concentração de qualquer poluente é constante nas direções y e z); o termo difusivo pode ser desprezado em ambiente lótico (CHAPRA, 1997; SILVINO, 2008; SALLA et al., 2014). Diante das simplificações, a Equação 13 é reescrita na forma da Equação 14.

$$u\frac{\partial C}{\partial x}=\pm Fonte \qquad (14)$$

A solução numérica, por diferença finita, da Equação 14, leva a Equação 15.

$$C_{n+1} = C_n \pm Fonte\ (t_{n+1} - t_n) \quad (15)$$

Na Equação 15: C_{n+1} representa a concentração do parâmetro no tempo t_{n+1}; C_n representa a concentração do parâmetro no tempo t_n.

As representações matemáticas do termo Fonte (ΣFi) para a simulação dos parâmetros OD, DBO, nitrogênio orgânico (NO), nitrogênio amoniacal (NH_3), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), fósforo total (P_{total}), coliformes (*E.coli*), metais pesados e contaminantes arbitrários (CA) são demonstradas nas equações 16 a 25, respectivamente.

$$\Sigma F_{OD} = +k_2 \times 1{,}024^{(T-20)} \times (OD_{sat} - OD) - k_d \times 1{,}047^{(T-20)} \times DBO - R_{02\text{-}amonia} \times f_{nitr} \times k_{an} \times 1{,}080^{(T-20)} \times NH_3 - S_d/h \quad (16)$$

$$\Sigma F_{DBO} = - k_d \times 1{,}047^{(T-20)} \times DBO - (VS_{MO}/h) \times DBO + L_{difuso}/h \quad (17)$$

$$\Sigma F_{NO} = - k_{oa} \times 1{,}047^{(T-20)} \times N_{org} - (VS_{NO}/h) \times N_{org} \quad (18)$$

$$\Sigma F_{NH3} = + k_{oa} \times 1{,}047^{(T-20)} \times N_{org} - R_{O2\text{-}amonia} \times f_{nitr} \times k_{an} \times 1{,}080^{(T-20)} \times NH_3 + S_{amonia}/h \quad (19)$$

$$\Sigma F_{NO2^-} = + R_{O2\text{-}amonia} \times f_{nitr} \times k_{an} \times 1{,}080^{(T-20)} \times NH_3 - k_{nn} \times 1{,}047^{(T-20)} \times NO_2^- \quad (20)$$

$$\Sigma F_{NO3^-} = + k_{nn} \times 1{,}047^{(T-20)} \times NO_2^- \quad (21)$$

$$\Sigma F_{Ptotal} = - k_P \times 1{,}047^{(T-20)} \times P_{total} - (VS_P/h) \times P_{total} \quad (22)$$

$$\Sigma F_{E.coli} = - k_b \times 1{,}070^{(T-20)} \times E.coli \quad (23)$$

$$\Sigma F_{metal\ i} = - k_{metal\ i} \times Metal_i + S_{metal\ i}/h \quad (24)$$

$$\Sigma F_{CA} = - (VS_{CA}/h) \times CA + S_{CA}/h \quad (25)$$

Nas equações (16) a (25): OD é a concentração de oxigênio dissolvido, em mg/L; ODsat é a concentração de saturação de oxigênio dissolvido, em mg/L; DBO é a demanda bioquímica de oxigênio, em mg/L; NO é a concentração de nitrogênio orgânico, em mg/L; NH3 é a concentração de nitrogênio amoniacal, em mg/L; NO2- é a concentração de nitrito, em mg/L; NO3- é a concentração de nitrato, em mg/L; Ptotal é a concentração de fósforo total (mg/L); E.coli é a concentração de coliformes, em NMP/100 mL; Metali é a concentração de qualquer metal (cádmio, cobre, chumbo, zinco, cromo, alumínio, cobalto, manganês, níquel, ferro e prata), em

mg/L; CA é a concentração de contaminantes arbitrários (sólidos suspensos, compostos tóxicos, entre outros), em mg/L; k_2 é o coeficiente de reaeração, em dia-1; kd é o coeficiente de decomposição da matéria orgânica carbonácea no rio, em dia-1; kan é o coeficiente de conversão de amônia em nitrito, em dia-1; koa é o coeficiente de conversão de nitrogênio orgânico em amônia, em dia-1; knn é o coeficiente de conversão de nitrito em nitrato, em dia-1; kP representa a constante de degradação do fósforo total (dia-1); kb é o coeficiente de decaimento de coliforme, em dia-1; kmetal i é o coeficiente de decaimento de qualquer metal i, em dia-1; VSMO é a velocidade de sedimentação da matéria orgânica carbonácea, em m/dia; VSNO é a velocidade de sedimentação do nitrogênio orgânico, em m/dia; VSP é a velocidade de sedimentação do fósforo total (em m/dia); VSCA é a velocidade de sedimentação do contaminante arbitrário qualquer (sólidos suspensos, tóxicos, etc) (m/dia); Sd é a demanda de fundo de oxigênio dissolvido no rio, em gO2/m².dia; Ldifuso é a carga difusa de DBO, em g/m².dia; Samônia é o ressurgimento de fundo da amônia, em g/m².dia; Smetal i é o ressurgimento de fundo de qualquer metal i, em g/m².dia; SCA é o ressurgimento de fundo de contaminante arbitrário, em g/m².dia; T é a temperatura da água, em ºC; h é a profundidade líquida do rio, em metros; RO2-amonia é o consumo de oxigênio para oxidação da amônia, em mgO2cons/mgNH3oxid; fnitr é o fator de nitrificação, adimensional.

Os parâmetros (coeficientes) utilizados nas equações 15 a 25 podem ser obtidas na literatura e estão relacionados no item 3.13 (Anexos).

A representação matemática do comportamento de OD (ver equação 16) não traz as influências da fotossíntese e respiração (em gO_2/m^3.dia), em função da ferramenta QUALI-TOOL ter sido desenvolvida para ambiente lótico.

3.15 CASOS PARTICULARES

O foco deste item está nas situações em que o usuário "foge" da simulação padrão da ferramenta QUALI-TOOL.

3.15.1 Caso o usuário não deseja simular algum parâmetro

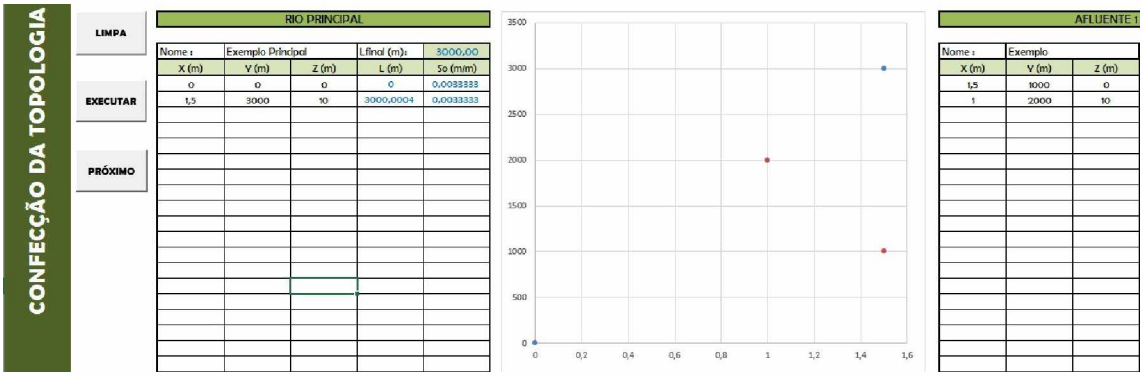
Caso o usuário não deseje simular algum parâmetro (tais como ciclo do fósforo, ciclo dos metais, ciclo do nitrogênio, etc), basta que o mesmo não insira dados de concentração e coeficien-

tes para esses parâmetros. Em resultados, basta que o mesmo não clique nos botões das modelagens dos parâmetros. Porém, o ciclo do OD é dependendo do ciclo da DBO e Nitrogênio, então se o usuário desejar uma modelagem mais próxima da realidade para OD deve-se modelar todos os itens.

3.15.2 Caso o usuário não possua dados de topologia (coordenadas e elevações)

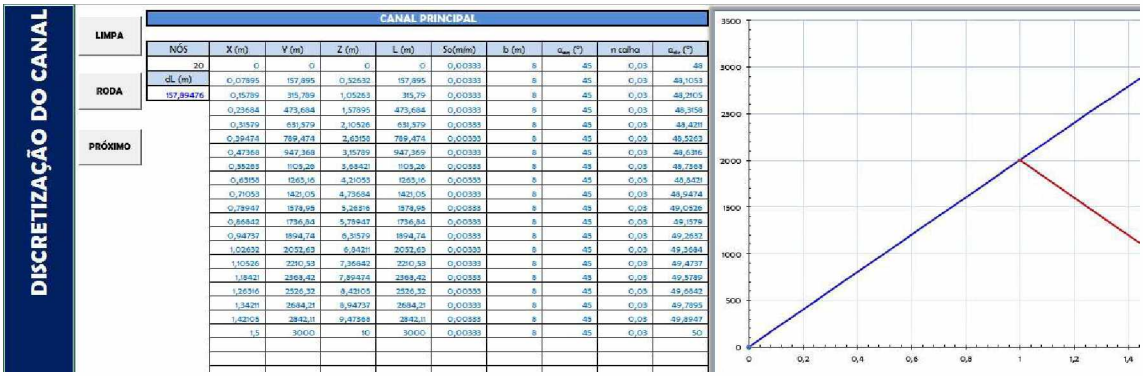
Neste caso deverá definir trechos de rios "fictícios", no qual cada trecho possua a declividade e comprimento desejados. As Figuras 20 e 21 ilustram esse processo. Lembra-se que devem ser inseridas, no mínimo, duas coordenadas (inicial e final) para que a ferramenta consiga calcular a declividade do trecho e o comprimento total. É importante também que as coordenadas X e Y dos pontos não sejam iguais.

Figura 20 – Como inserir dados de topologia fictícios.



Fonte: Autora (2017)

Figura 21 – Resultado da discretização de um rio "fictício"



Fonte: Autora (2017)

3.16 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Algumas considerações e dicas são feitas para evitar erros durante a simulação com a ferramenta QUALI-TOOL.

De uma forma geral:

I. **Sempre** que for iniciar um novo projeto, **limpar** todas as células em **todas** as planilhas;
II. **Nunca** inserir novas colunas ou linhas antes dos cabeçalhos de resultados, pois esta ação fará com que a programação do VBA se altere e resultará em erros durante a simulação ou até mesmo nas concentrações finais.

Na seção Topologia:

I. **Cuidado** para não lançar duas vezes a mesma coordenada. Caso isso ocorra, irá se mostrar o erro "OVERFLOW". Verifique as coordenadas lançadas e apague as duplicadas antes de executar novamente;
II. Se em seu modelo numérico do terreno ou captura de coordenadas ocorrerem declividades positivas (rio acima), na seção "Hidráulica" podem ocorrer erros também. **É importante conferir esses valores.**

Na seção Discretização:

I. **Não esqueça** de inserir o número de células desejadas para a simulação;
II. A fim de não tornar a ferramenta muito lenta, o **limite máximo de nós** na ferramenta QUALI-TOOL é **10.000**.

Nas seções "Vazões Pontuais e Vazões Difusas":

I. Em casos de vazões de retirada (demanda), não esquecer de colocar o sinal negativo.
II. **Não** relacione as vazões pontuais e difusas dos afluentes no rio principal. A própria ferramenta foi programado para lançar esses dados a partir dos dados de coordenadas e comprimentos.

Nas seções "Concentrações Pontuais e Concentrações Difusas"

I. **Para que não ocorram divergências**, ao iniciar, pressione a célula de importar as vazões das planilhas anteriores. Desta forma, o usuário não esquecerá de relacionar nenhum lançamento no cálculo das concentrações;

II. Em caso de vazões de retirada (demanda), **não** inserir valores de concentrações de qualquer parâmetro. Ou seja, deixar as células de concentrações em branco.

Na seção Concentrações:

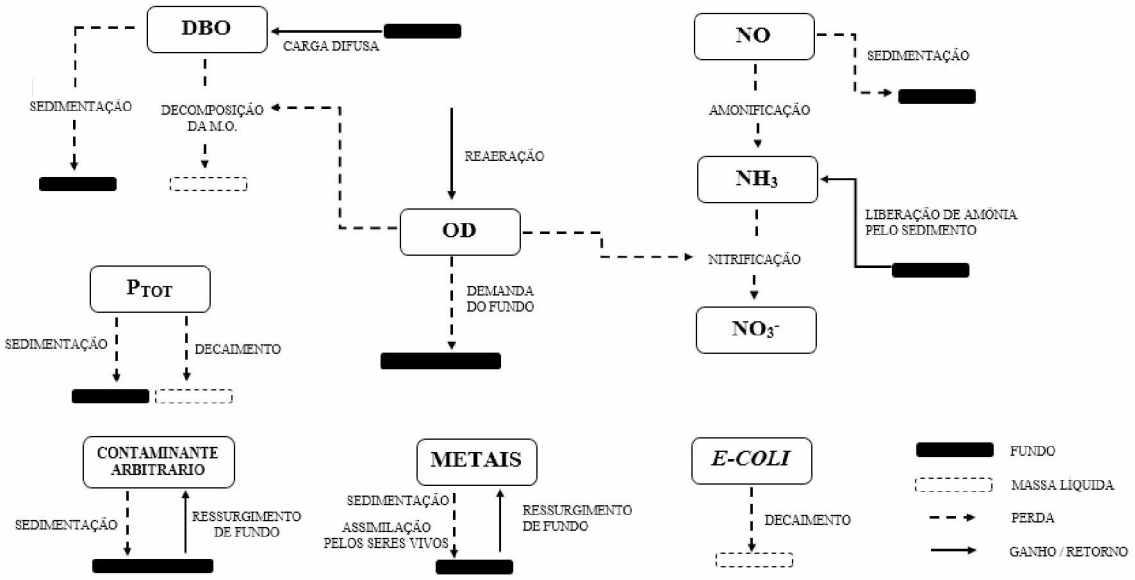
I. Para que a modelagem do OD resulte em simulações mais apropriadas, deve-se realizar a modelagem da DBO e do Nitrogênio **antes**, visto que o balanço de OD depende da degradação da MO e da nitrificação, já que ambas consomem OD no processo.

3.17 PROCESSOS MODELADOS E CONSTITUINTES

3.17.1 PROCESSOS MODELADOS

Os processos modelados na ferramenta QUALI-TOOL são decomposição, decaimento, sedimentação, ressurgimento de fundo, reaeração e conversões (nitrificação e amonificação). O esquema geral dos processos físicos e bioquímicos aos quais os parâmetros de qualidade da água estão sujeitos, além das interações entre os próprios parâmetros, são apresentadas na Figura 22.

Figura 22 – Esquema dos processos físicos e bioquímicos e interações dos parâmetros



Fonte: Adaptado de Salla et al. (2014)

A sequência traz uma descrição sucinta de cada parâmetro de qualidade da água.

3.17.2 CONSTITUINTES

Os constituintes abordados na ferramenta QUALI-TOOL são: Matéria Orgânica (DBO), Oxigênio Dissolvido (OD), nitrogênio e suas frações (orgânico, amoniacal e nitrato), fósforo total, contaminantes arbitrários (como sólidos suspensos, compostos tóxicos, etc.), *E-coli* e metais pesados.

3.17.2.1 Matéria orgânica carbonácea

Os processos envolvidos na degradação da matéria orgânica, conforme detalhado na Equação 17 e ilustrado na Figura 22, são, respectivamente, de decomposição pelas bactérias, sedimentação da parcela adsorvida às partículas sólidas em suspensão e aporte das cargas difusas de DBO sem vazão (é o ressurgimento de fundo).

3.17.2.2 Nitrogênio orgânico e suas frações

Os processos envolvidos na degradação do nitrogênio orgânico, conforme detalhados nas Equações 18 a 21 e ilustrado na Figura 22, são, respectivamente sedimentação do nitrogênio orgânico adsorvido em material particulado, conversão do nitrogênio orgânico a amônia, oxidação da amônia a nitrito e de nitrito a nitrato além de ressurgimento de fundo da amônia.

3.17.2.3 Oxigênio Dissolvido

Os processos envolvidos na acumulação de oxigênio dissolvido, conforme detalhado na Equação 16 e ilustrado na Figura 22, são, respectivamente reaeração devido ao intercâmbio de moléculas da fase líquida para gasosa e vice-versa, decomposição da matéria orgânica (na qual há consumo de OD), demanda bentônica de OD e nitrificação (processo de conversão da amônia a nitrato, na qual há consumo de OD).

3.17.2.4 Fósforo Total

Os processos envolvidos no balanço do fósforo, conforme detalhado na Equação 22 e ilustrado na Figura 22, são, respectivamente, decaimento do fósforo total (envolve a conversão da parcela orgânica para a inorgânica e a assimilação da parcela inorgânica pelos protistas e algas) e a sedimentação do fósforo (envolve a sedimentação da parcela orgânica).

3.17.2.5 Escheria Coli

O processo envolvido no ciclo do *E-coli*, conforme detalhado na Equação 23 e ilustrado na Figura 22, é o decaimento das bactérias *E-coli*.

3.17.2.6 Metais pesados

Os processos envolvidos no balanço dos metais pesados, conforme detalhado na Equação 24 e ilustrado na Figura 22, são, respectivamente, assimilação pelos seres vivos, sedimentação de metais adsorvidos ao material particulado e ressurgimento de fundo dos metais.

3.17.2.7 Contaminantes Arbitrários (sólidos suspensos e compostos tóxicos)

Os processos envolvidos no balanço dos contaminantes arbitrários, conforme detalhado na Equação 25 e ilustrado na Figura 22, são sedimentação e ressurgimento de fundo, respectivamente.

3.18 UNIDADES DE ENTRADA

As Tabela 10 e 11 apresentam os parâmetros e variáveis utilizados na ferramenta QUALI-TOOL, com seus símbolos e unidades. É importante ressaltar que os coeficientes utilizados estão relacionados na Tabela 3.

Tabela 10 – Unidades de entrada na ferramenta QUALI-TOOL em Topologia e Seções Transversais

Parâmetro / Variável	Símbolo	Unidade
Coordenada Leste-Oeste	X	Metros (m)
Coordenada Norte-Sul	Y	Metros (m)
Elevação / Altitude	Z	Metros (m)
Comprimento do rio	L	Metros (m)
Declividade de fundo	So	Metros / Metros (m/m)
Distância da mudança de seção transversal	Ls	Metros (m)
Base menor da seção transversal	B	Metros (m)
Ângulo de inclinação esquerdo do talude	α_{esq}	Graus (°)
Ângulo de inclinação direito do talude	α_{dir}	Graus (°)
Rugosidade de manning da calha	H	-

Fonte: Autora (2017)

Tabela 11 – Unidades de entrada na ferramenta QUALI-TOOL em Hidráulica e Concentrações

Vazão afluente do trecho	**Q_{af}**	**m^3/s**
Comprimento de Injeção / Retirada	L_{inj}	Metros (m)
Vazão de lançamento ou retirada pontual	Q_p	m^3/s
Comprimento de injeção ou retirada difusa inicial	$L_{inicial}$	Metros (m)
Comprimento de injeção ou retirada difusa final	L_{final}	Metros (m)
Vazão de retirada ou injeção difusa	qd	m^3/s
Velocidade do curso d'água	V	M
Vazão total do curso d'água	Q	m^3/s
Velocidade de cisalhamento	u*	m/s
Tensão de cisalhamento	τ_o	Pa
Nível d'água	NA	Metros (m)
Número de Froude	Fr	-
Concentração de Oxigênio Dissolvido	OD	mg/L
Concentração de DBO	DBO	mg/L
Concentração de Contaminante arbitrátio	CA	mg/L
Concentração de Nitrogênio Orgânico	NO	mg/L
Concentração de Nitrogênio Amoniacal	N_{amon}	mg/L
Concentração de Nitrato	Nitrato	mg/L
Concentração de Fósforo Total	P_{TOT}	mg/L
Concentração de E-coli	E-coli	NPM
Concentração de Metais Pesados	Metais	mg/L
Temperatura	T	ºC

Fonte: Autora (2017)

3.19 MACROS (PROGRAMAÇÃO)

Este capítulo remete ao **APÊNDICE B**. Este apêndice traz todas as macros (linguagem de programação) pertinentes (fórmulas, leitura de dados, etc.) para a elaboração da ferramenta.

CAPÍTULO 4

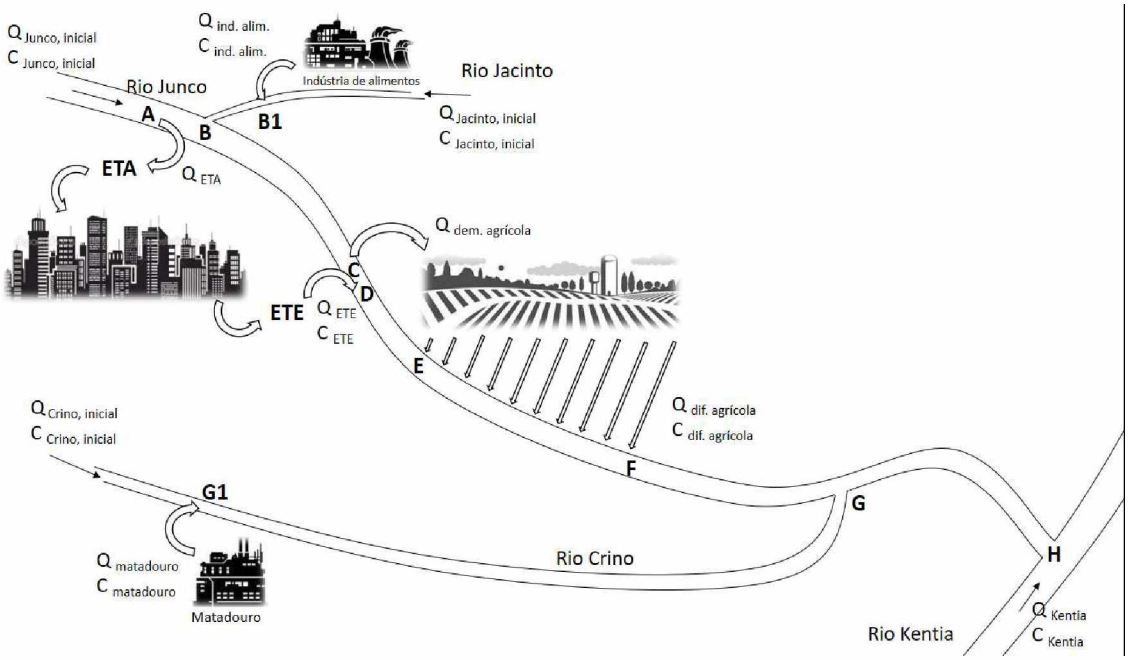
RESULTADOS

Este capítulo remete ao "Exemplo prático de modelagem da qualidade de água em rio". O exemplo traz, de uma forma detalhada, todas as etapas para a simulação computacional através da ferramenta computacional QUALI-TOOL. Além disso, inclui-se nesse tópico a comparação através deste exemplo hipotético da ferramenta QUALI-TOOL com outras duas ferramentas já aceitas na atualidade, QUAL-UFMG e AQUATOOL.

4.1 RESOLUÇÃO DO EXERCÍCIO PROPOSTO

O exemplo prático traz uma situação hipotética de um curso de água principal com dois afluentes "modeláveis", os quais são utilizados para diversos fins de uso da água superficial, conforme ilustra a Figura 23. O traçado do sistema hídrico foi idealizado para contemplar a maior parte da potencialidade da ferramenta QUALI-TOOL.

Figura 23 – Traçado do sistema hídrico



Fonte: Autora (2017)

De acordo com a Figura 23, o afluente modelável denominado "Rio Jacinto" recebe o lançamento pontual de efluente de uma indústria de alimentos. O afluente "modelável" denominado 'Rio Crino" recebe o lançamento pontual de efluente de um matadouro. Já o rio principal denominado "Rio Junco" possui duas retiradas pontuais (abastecimento público de uma cidade de médio porte e irrigação para uma agricultura), três entradas ou lançamentos pontuais (afluentes modeláveis "Rio Jacinto" e "Rio Crino" e efluente sanitário doméstico tratado) e uma entrada ou lançamento difuso (carreamento superficial de material orgânico e inorgânico).

No rio principal, a montante da captação superficial para abastecimento público (a montante do ponto A na Figura 23), o curso de água não recebe nenhum tipo de contribuição de efluente, seja pontual e/ou difusa, sendo considerado razoavelmente limpo. Ainda no rio principal, a jusante de sua confluência com o afluente modelável "Rio Crino" (a jusante do ponto G na Figura 23), o rio percorre um largo trecho sem lançamentos e retiradas difusas e pontuais até sua foz no "rio Kentia" (ponto H na Figura 23). O foco deste exemplo prático está nos afluentes "modeláveis" e no rio principal "Rio Junco" até sua foz no "rio Kentia".

4.1.1 ENUNCIADO

Diante dos dados fornecidos nas Tabelas 1 até 6, pede-se para traçar o perfil, ao longo de todo o rio principal "Rio Junco" (desde a captação para abastecimento público – ponto A - até a sua foz – ponto H), dos seguintes parâmetros de qualidade de água: sólidos suspensos SS (contaminante arbitrário), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio orgânico (NO), nitrogênio amoniacal (NO_3^-), nitrato (NH_3^+) e fósforo total (P_{total}).

TABELAS – DADOS DE ENTRADA

Tabela 11 - Topologia do sistema hídrico

Trecho	Ponto	Coordenada UTM (m)			Trecho	Ponto	Coordenada UTM (m)		
		X	Y	Z			X	Y	Z
A-B	A	787148	7896781	796,0	D-E	D	781048	7910480	754,5
		787186	7896928	794,5			780443	7910631	746,0
		787024	7897385	794,0			780298	7910629	744,5
		786750	7897742	792,5			780079	7910937	739,5
		786526	7898274	791,0			780161	7911344	739,0
		786248	7898582	789,5			779499	7911952	736,5
	B	786019	7899201	789,0			779339	7912600	736,0
B1-B	B1	788490	7900459	843,0			779276	7912954	734,0
		787849	7900384	839,0			778882	7913608	729,5

Tabela 11 - Topologia do sistema hídrico (continuação)

		787431	7900070	833,0		E	778636	7913708	729,0
		786670	7899669	812,0		E	778636	7913708	729,0
		786337	7899418	797,0			778138	7914156	726,0
	B	786019	7899201	789,0			777721	7914664	724,0
	B	786019	7899201	789,0			776762	7916280	723,0
		785835	7899573	788,5			775985	7917673	719,0
		785361	7899627	787,3			775314	7918188	700,0
		785045	7900194	786,0			775113	7918603	684,0
		785103	7900831	785,5			774547	7918741	683,0
		785276	7901120	785,0	E-F		774508	7918964	669,5
		785226	7901491	784,6			774192	7919125	669,0
		785151	7902343	783,8			773868	7919632	665,0
		785257	7902388	783,3			773796	7919951	663,0
		785698	7902500	783,0			773442	7920084	662,0
		785706	7902684	782,6			773481	7920495	660,0
		785485	7903766	782,2			772047	7921719	649,0
B-C		785221	7904047	782,0			770955	7922075	645,0
		785110	7904376	781,0		F	769930	7923080	644,0
		785096	7904787	780,5		F	769930	7923080	644,0
		784454	7905656	779,0			769875	7923154	643,0
		783935	7906062	776,0			769339	7923377	638,5
		783667	7906789	775,7			768941	7923666	638,0
		783718	7907144	775,2			768947	7924068	637,5
		782875	7907693	774,0			768586	7924183	637,0
		782872	7908481	773,0			768149	7924354	635,0
		782685	7908776	772,0			767503	7924723	632,5
		782312	7909035	771,0	F-G		767465	7925292	632,0
	C	782175	7909654	768,0			766269	7926380	623,5
	C	782175	7909654	768,0			765973	7926399	623,0
		782002	7909898	765,5			765968	7926922	622,0
		781730	7910040	763,5			765531	7927082	619,0
C-D		781467	7909927	761,0			765159	7928591	612,0
		781236	7910040	758,0			764514	7929199	610,0
		781106	7910167	756,0			764729	7930647	600,0
	D	781048	7910480	754,5		G	764292	7931337	599,5
	G1	771737	7907434	793,0		G	764292	7931337	599,5
		766820	7913938	769,0			764183	7931948	599,0
		765827	7914886	761,0			763719	7932519	588,0
		765878	7915037	760,0			763413	7932885	578,0
		765326	7916729	757,0			763097	7932877	575,0
G1-G		765481	7917166	756,0	G-H		762899	7933042	565,0
		765347	7917280	752,0			762430	7933077	560,0
		765023	7917359	748,0			762530	7933920	558,0
		765118	7917541	745,0			762981	7934050	555,0
		764989	7917761	738,5			763004	7934213	552,0

Tabela 11 - Topologia do sistema hídrico (continuação)

		764876	7917799	738,0			762353	7934689	551,0
		764941	7918050	734,5			762346	7935136	545,5
		764730	7918190	734,0			761673	7936103	545,0
		764846	7918255	733,0			761208	7936285	544,5
		764699	7918309	730,5			761207	7936516	544,0
		764602	7918270	730,0			761557	7937050	542,0
		764568	7918592	729,0			761192	7937500	541,0
		764425	7918794	728,5			760897	7937291	539,0
		764667	7918915	728,0			760645	7937558	537,0
		764304	7922427	708,0			760748	7937696	534,0
		763274	7924932	648,0			760086	7938225	533,5
		763018	7926530	643,0			760617	7938937	533,0
		763486	7927184	636,0			759737	7939281	524,5
		762923	7928319	623,0			760088	7940036	524,0
		762445	7929593	607,0			761039	7939976	523,0
	G	764292	7931337	599,5			760783	7941372	518,0
						H	761419	7941662	516,0

Tabela 12 – Dados geométricos e hidráulicos da seção transversal

	Ponto	L (m)	b (m)	α_{esq}	η_{calha}	α_{dir}
Rio Jacinto (afluente modelável)	B1	0,0	6,0	47	0,030	75
	Entre B1-B	1168	6,5	50	0,030	70
	B	2830	7,2	45	0,030	65
Rio Crino (afluente modelável)	G1	0,0	5,0	45	0,035	48
	Entre G1-G	19445	5,3	46	0,035	50
	Entre G1-G	24007	6,5	48	0,036	52
	G	38355	7,0	50	0,038	55
Rio Junco (rio principal)	A	0	14,0	48	0,042	45
	B	2739	16,0	46	0,042	47
	C	15593	16,5	46	0,042	49
	D	17242	17,5	48	0,042	45
	E	21759	18,0	45	0,042	47
	F	35220	18,5	46	0,045	48
	G	46572	21,0	48	0,045	45
	H	62798	24,0	45	0,043	47

Tabela 13 – Discretização

	Discretização
Rio Jacinto	50
Rio Crino	500
Rio Junco	1000

Tabela 14 – Vazões pontuais e difusas

Rio Jacinto							
Vazão pontual				Vazão difusa			
Q_{af} (m^3/s)	Descrição	$L_{inj.}$ (m)	Vazão (m^3/s)	Descri-ção	$L_{inicial}$ (m)	L_{final} (m)	Q ($m^3/s.m$)
1,5	Indústria de alimentos	0	0,8	-	-	-	-
Rio Crino							
1,1	Matadouro	0	0,5	-	-	-	-
Rio Junco							
6,2	Abastecimento público	0	-1,2	Agrícola	21759	35220	0,0001
	Demanda agrícola	15593	-1,8				
	ETE	17242	0,9				

Tabela 15 – Concentrações pontuais e difusas

Rio		SS (mg/L)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	NO (mg/L)	NH_3^+ (mg/L)	NO_3- (mg/L)	P_{total} (mg/L)
Jacinto	Q_{af} (m^3/s)	12	6,0	4,0	0,1	0,2	0,01	0,6
	Ind. Alim.	250	1,0	260	25	8,0	2,0	10
	Difuso	---	---	---	---	---	---	---
Crino	Q_{af} (m^3/s)	8	5,8	3,0	0,2	0,3	0,02	0,5
	Matadouro	850	0,5	440	1,5	4,5	0,8	20,0
	Difuso	---	---	---	---	---	---	---
Junco	Q_{af} (m^3/s)	13	6,3	5,0	0,3	0,4	0,02	0,7
	ETE	140	1,5	65	1,3	15,0	0,07	4,5
	Agr. difusa	120	5,8	6,0	0,9	0,6	2,5	0,5

Tabela 16 – Coeficientes dos processos físicos e bioquímicos adotados da literatura (valor único para todos os trechos simulados)

Rio	Trecho	T (ºC)	K_2 (d^{-1})	K_d (d^{-1})	VS_{M0}(m/d) *	K_{OA} (d^{-1})	VS_{NO}(m/d) *	K_{AN} (d^{-1})	K_{NN} (d^{-1})	K_P (d^{-1})	VS_P (m/d) *	VS_{SS} (m/d) *
Jacinto	B1-B	22	Equações hidráulicas da literatura (Tabela 4 no manual do usuário)	0,4	0,1125	0,21	0,0045	0,20	0,5	0,25	0,0225	0,01
Crino	G1-G											
Junco	A-B											
	B-C											
	C-D											
	D-E											
	E-F											
	F-G											
	G-H											

Considerar todos os outros parâmetros (Sd', S_{CA}, L_{rd}, S_{amon}) iguais a 0 (zero).

4.1.2 RESOLUÇÃO DO EXERCÍCIO

1º Passo: Lançamento das coodenadas em "Topologia"

Copiar os dados da Tabela 11 e colar em x, y, z na aba "topologia" no QUALI-TOOL

> AVISOS: Na Tabela 1 estão relacionadas as coordenadas entre os pontos A-B, B-C, C-D, etc, conforme ilustra a Figura 23. De acordo com as recomendações do Manual do Usuário, para evitar erros é importante não lançar duas vezes as mesmas coordenadas. Observe que no início dos segmentos sempre se repetem as mesmas coordenadas. Isso deve ser evitado, copiando a partir da 2ª linha de cada trecho!

Ao final do lançamento dos trechos, pressionar o botão executar. Os resultados do comprimento dos trechos e da declividade longitudinal são apresentados nas Tabelas de 17 a 19. A Figura 24 traz o traçado da hidrologia gerado pela ferramenta QUALI-TOOL. A Tabela 17 foi apresentada parcialmente, por apresentar grande quantidade de pontos amostrais, para que a mesma não ficasse muito extensa.

Tabela 17 – Resultados da Topologia do Rio Principal

RIO PRINCIPAL				
Nome :	Rio Junco		Lfinal (m):	62797,58
X (m)	Y (m)	Z (m)	L (m)	So (m/m)
787148	7896781	796	0	-0,0098793
787186	7896928	794,5	151,83214	-0,0098793
787024	7897385	794	636,69604	-0,0010312
786750	7897742	792,5	1086,7238	-0,0033331
786526	7898274	791	1663,9586	-0,0025986
786248	7898582	789,5	2078,8658	-0,0036153
786019	7899201	789	2738,8673	-0,0007576
785835	7899573	788,5	3153,8854	-0,0012048
785361	7899627	787,3	3630,9514	-0,0025154
785045	7900194	786	4280,0624	-0,0020027
785103	7900831	785,5	4919,6974	-0,0007817
785276	7901120	785	5256,5208	-0,0014845
785226	7901491	784,6	5630,8749	-0,0010685
785151	7902343	783,8	6486,1696	-0,0009354
785257	7902388	783,3	6601,326	-0,0043419
785698	7902500	783	7056,326	-0,0006593
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.

Tabela 17 – Resultados da Topologia do Rio Principal (continuação)

761673	7936103	545	53364,238	-0,0004244
761208	7936285	544,5	53863,587	-0,0010013
761207	7936516	544	54094,589	-0,0021645
761557	7937050	542	54733,068	-0,0031324
761192	7937500	541	55312,486	-0,0017259
760897	7937291	539	55674,019	-0,005532
760645	7937558	537	56041,161	-0,0054475
760748	7937696	534	56213,361	-0,0174216
760086	7938225	533,5	57060,76	-0,00059
760617	7938937	533	57948,963	-0,0005629
759737	7939281	524,5	58893,81	-0,0089962
760088	7940036	524	59726,412	-0,0006005
761039	7939976	523	60679,303	-0,0010494
760783	7941372	518	62098,582	-0,0035229
761419	7941662	516	62797,578	-0,0028612

Tabela 18 - Resultados da Topologia do Afluente 1

AFLUENTE 1				
Nome :	Rio Jacinto		Lfinal (m):	2830,35
X (m)	Y (m)	Z (m)	L (m)	So (m/m)
788490	7900459	843	0	-0,006198
787849	7900384	839	645,37276	-0,006198
787431	7900070	833	1168,1729	-0,0114767
786670	7899669	812	2028,3601	-0,0244133
786337	7899418	797	2445,3613	-0,0359711
786019	7899201	789	2830,3457	-0,0207801

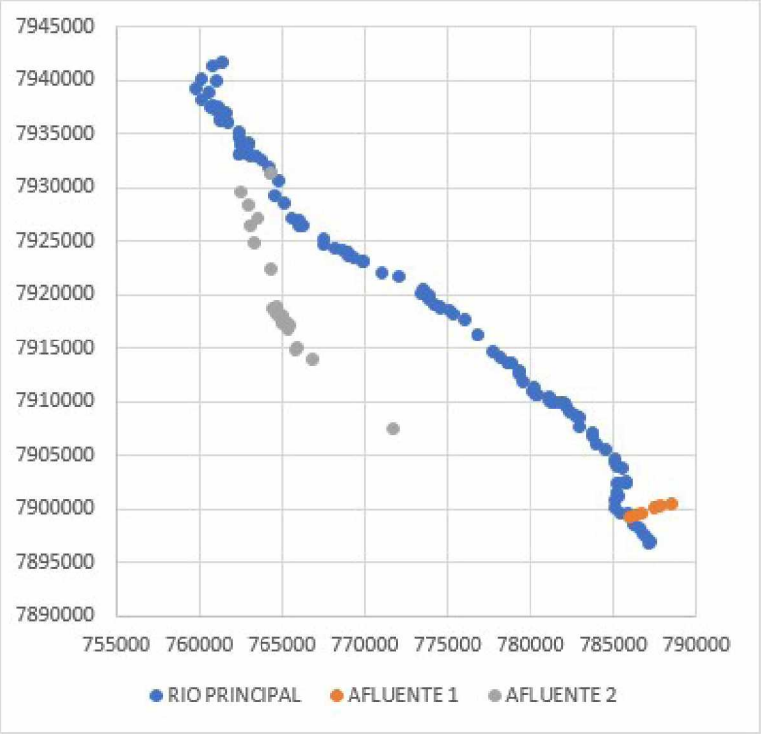
Tabela 19 - Resultados da Topologia do Afluente 2

AFLUENTE 2				
Nome :	Rio Crino		Lfinal (m):	28596,32
X (m)	Y (m)	Z (m)	L (m)	So (m/m)
771737	7907434	793	0	-0,0029435
766820	7913938	769	8153,4597	-0,0029435
765827	7914886	761	9526,3228	-0,0058272
765878	7915037	760	9685,7028	-0,0062743
765326	7916729	757	11465,469	-0,0016856
765481	7917166	756	11929,144	-0,0021567
765347	7917280	752	12105,075	-0,0227361
765023	7917359	748	12438,567	-0,0119943
765118	7917541	745	12643,87	-0,0146126
764989	7917761	738,5	12898,901	-0,0254871

Tabela 19 - Resultados da Topologia do Afluente 2 (continuação)

764876	7917799	738	13018,119	-0,004194
764941	7918050	734,5	13277,399	-0,0134989
764730	7918190	734	13530,6204	-0,0019746
764846	7918255	733	13663,59	-0,0075205
764699	7918309	730,5	13820,195	-0,0159638
764602	7918270	730	13924,742	-0,0047826
764568	7918592	729	14248,5316	-0,0030884
764425	7918794	728,5	14496,025	-0,0020203
764667	7918915	728	14766,589	-0,001848
764304	7922427	708	18297,299	-0,0056646
763274	7924932	648	21005,791	-0,0221526
763018	7926530	643	22624,166	-0,0030895
763486	7927184	636	23428,368	-0,0087043
762923	7928319	623	24695,33	-0,0102608
762445	7929593	607	26056,051	-0,0117585
764292	7931337	599,5	28596,3154	-0,0029524

Figura 24 – Hidrografia gerada pela ferramenta QUALI-TOOL



2º Passo: Lançamento dos dados geométricos em "Seções Transversais"

O lançamento dos dados geométricos é bem simples. Basta copiar os dados da Tabela 12 e colar na planilha "Seções Transversais". Deve-se ter cuidado para lançar os dados corretamente no

curso de água correto. Por exemplo, o rio principal é o Rio Junco, o afluente 1 é o rio Jacinto e o afluente 2 é o rio Crino. Também deve-se verificar se as unidades dos dados geométricos de entrada são as mesmas que a ferramenta QUALI-TOOL exige. Por fim, o usuário deve lançar cada dado de entrada em sua coluna correspondente. Os resultados dos lançamentos dos dados geométricos estão relacionados nas Tabelas de 20 a 22.

Tabela 20 – Lançamento dos dados geométricos do rio principal

RIO PRINCIPAL				
Ls(m)	b (m)	α_{esq} (°)	n calha	α_{dir} (°)
0,00	14,00	48,00	0,04	45,00
2739,00	16,00	46,00	0,04	47,00
15593,00	16,50	46,00	0,04	49,00
17242,00	17,50	48,00	0,04	45,00
21759,00	18,00	45,00	0,04	47,00
35220,00	18,50	46,00	0,05	48,00
46572,00	21,00	48,00	0,05	45,00
62798,00	24,00	45,00	0,04	47,00

Tabela 21 – Lançamento dos dados geométricos do Afluente 1

AFLUENTE 1				
Ls(m)	b (m)	α_{esq} (°)	n calha	α_{dir} (°)
0,00	6,00	47,00	0,03	75,00
1168,00	6,50	50,00	0,03	70,00
2830,00	7,20	45,00	0,03	65,00

Tabela 22 – Lançamento dos dados geométricos do Afluente 2

AFLUENTE 2				
Ls(m)	b (m)	α_{esq} (°)	n calha	α_{dir} (°)
0,00	5,00	45,00	0,04	48,00
19445,00	5,30	46,00	0,04	50,00
24007,00	6,50	48,00	0,04	52,00
38355,00	7,00	50,00	0,04	55,00

3º Passo: Resultados Discretizados na seção "Discretização"

Nesta planilha, o único lançamento que deve ser feito é o da quantidade de nós que cada curso de água deverá possuir. A quantidade de nós para a discretização dos três cursos de água é apresentada na Tabela 13. São gerados resultados discretizados de L (metros), So (m/m), b

(metros), α_{esq} e α_{dir}(graus) e rugosidade. Em função da grande quantidade de nós para os cursos de água, as planilhas com os resultados das discretizações são enormes, o que torna inviável suas apresentações integrais neste exemplo. Com isso, as Tabelas 23, 24 e 25 trazem os primeiros e últimos quinze resultados, respectivamente. A Figura 25 ilustra a hidrografia discretizada do rio.

Tabela 23 – Resultados de discretização no rio principal

CANAL PRINCIPAL									
NÓS	X (m)	Y (m)	Z (m)	L (m)	So(m/m)	b (m)	α_{esq} (°)	n calha	α_{dir} (°)
1000	787148	7896781	796	0	-0,009879	14	48	0,042	45
dL (m)	787163,73	7896841,9	795,37898	62,860439	-0,009879	14,0459	47,9541	0,042	45,0459
62,8604388	787179,46	7896902,7	794,75796	125,72088	-0,009879	14,091801	47,908199	0,042	45,091801
	787195,2	7896963,6	794,13694	188,58132	-0,009879	14,137701	47,862299	0,042	45,137701
	787152,72	7897021,9	793,51592	251,44176	-0,009879	14,183601	47,816399	0,042	45,183601
	787131,72	7897081,1	792,8949	314,30219	-0,009879	14,229501	47,770499	0,042	45,229501
	787110,71	7897140,4	792,27389	377,16263	-0,009879	14,275402	47,724598	0,042	45,275402
	787089,71	7897199,6	791,65287	440,02307	-0,009879	14,321302	47,678698	0,042	45,321302
	787068,71	7897258,9	791,03185	502,88351	-0,009879	14,367202	47,632798	0,042	45,367202
	787047,71	7897318,1	790,41083	565,74395	-0,009879	14,413103	47,586897	0,042	45,413103
	787026,7	7897377,4	789,78981	628,60439	-0,009879	14,459003	47,540997	0,042	45,459003
	787005,7	7897436,6	789,16879	691,46483	-0,009879	14,504903	47,495097	0,042	45,504903
	786952,38	7897478,3	789,10397	754,32527	-0,001031	14,550803	47,449197	0,042	45,550803
	786914,11	7897528,2	789,03914	817,1857	-0,001031	14,596704	47,403296	0,042	45,596704
	786875,84	7897578	788,97432	880,04614	-0,001031	14,642604	47,357396	0,042	45,642604
	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	760815,66	7941193,9	480,61183	61917,532	-0,001049	23,837212	45,162788	0,045	46,891474
	760804,32	7941255,7	480,54586	61980,393	-0,001049	23,848834	45,151166	0,045	46,899223
	760792,98	7941317,6	480,47989	62043,253	-0,001049	23,860456	45,139544	0,045	46,906971
	760781,64	7941379,4	480,41393	62106,113	-0,001049	23,872078	45,127922	0,045	46,914719
	760847,05	7941401,2	480,19247	62168,974	-0,003523	23,8837	45,1163	0,045	46,922467
	760904,24	7941427,3	479,97102	62231,834	-0,003523	23,895323	45,104677	0,045	46,930215
	760961,44	7941453,4	479,74957	62294,695	-0,003523	23,906945	45,093055	0,045	46,937963
	761018,63	7941479,4	479,52812	62357,555	-0,003523	23,918567	45,081433	0,045	46,945711
	761075,83	7941505,5	479,30667	62420,416	-0,003523	23,930189	45,069811	0,045	46,953459
	761133,02	7941531,6	479,08521	62483,276	-0,003523	23,941811	45,058189	0,045	46,961207
	761190,22	7941557,7	478,86376	62546,137	-0,003523	23,953433	45,046567	0,045	46,968956
	761247,41	7941583,8	478,64231	62608,997	-0,003523	23,965056	45,034944	0,045	46,976704
	761304,61	7941609,8	478,42086	62671,857	-0,003523	23,976678	45,023322	0,045	46,984452
	761361,8	7941635,9	478,19941	62734,718	-0,003523	23,9883	45,0117	0,045	46,9922
	761419	7941662	477,97795	62797,578	-0,003523	23,999922	45,000078	0,045	46,999948

Tabela 24 – Resultados de discretização no afluente 1

AFLUENTE 1									
NÓS	X (m)	Y (m)	Z (m)	L (m)	So(m/m)	b (m)	α_{esq} (°)	n calha	α_{dir} (°)
500	788490	7900459	843	0	-0,006198	6	47	0,03	75
dL (m)	788484,37	7900458,3	842,96484	5,6720355	-0,006198	6,0024281	47,014569	0,03	74,975719
5,6720355	788478,73	7900457,7	842,92969	11,344071	-0,006198	6,0048562	47,029137	0,03	74,951438
	788473,1	7900457	842,89453	17,016107	-0,006198	6,0072843	47,043706	0,03	74,927157
	788467,47	7900456,4	842,85938	22,688142	-0,006198	6,0097124	47,058274	0,03	74,902876
	788461,83	7900455,7	842,82422	28,360178	-0,006198	6,0121405	47,072843	0,03	74,878595
	788456,2	7900455	842,78907	34,032213	-0,006198	6,0145686	47,087412	0,03	74,854314
	788450,56	7900454,4	842,75391	39,704249	-0,006198	6,0169967	47,10198	0,03	74,830033
	788444,93	7900453,7	842,71876	45,376284	-0,006198	6,0194248	47,116549	0,03	74,805752
	788439,3	7900453,1	842,6836	51,04832	-0,006198	6,0218529	47,131117	0,03	74,781471
	788433,66	7900452,4	842,64845	56,720355	-0,006198	6,024281	47,145686	0,03	74,75719
	788428,03	7900451,7	842,61329	62,392391	-0,006198	6,0267091	47,160254	0,03	74,732909
	788422,4	7900451,1	842,57814	68,064426	-0,006198	6,0291372	47,174823	0,03	74,708628
	788416,76	7900450,4	842,54298	73,736462	-0,006198	6,0315653	47,189392	0,03	74,684347
	788411,13	7900449,8	842,50783	79,408497	-0,006198	6,0339934	47,20396	0,03	74,660066
	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	786084,59	7899245,8	804,80289	2750,9372	-0,035971	7,1667004	45,237854	0,03	65,237854
	786079,91	7899242,6	804,59886	2756,6093	-0,035971	7,1690893	45,22079	0,03	65,22079
	786075,22	7899239,4	804,39483	2762,2813	-0,035971	7,1714783	45,203727	0,03	65,203727
	786070,54	7899236,2	804,1908	2767,9533	-0,035971	7,1738672	45,186663	0,03	65,186663
	786065,85	7899233	803,98677	2773,6254	-0,035971	7,1762562	45,169599	0,03	65,169599
	786061,17	7899229,8	803,78274	2779,2974	-0,035971	7,1786451	45,152535	0,03	65,152535
	786056,48	7899226,6	803,57871	2784,9694	-0,035971	7,1810341	45,135471	0,03	65,135471
	786051,8	7899223,4	803,37468	2790,6415	-0,035971	7,183423	45,118407	0,03	65,118407
	786047,11	7899220,2	803,17065	2796,3135	-0,035971	7,1858119	45,101343	0,03	65,101343
	786042,43	7899217	802,96662	2801,9855	-0,035971	7,1882009	45,084279	0,03	65,084279
	786037,74	7899213,8	802,76259	2807,6576	-0,035971	7,1905898	45,067215	0,03	65,067215
	786033,06	7899210,6	802,55856	2813,3296	-0,035971	7,1929788	45,050152	0,03	65,050152
	786028,37	7899207,4	802,35453	2819,0016	-0,035971	7,1953677	45,033088	0,03	65,033088
	786023,69	7899204,2	802,1505	2824,6737	-0,035971	7,1977567	45,016024	0,03	65,016024
	786019	7899201	801,94647	2830,3457	-0,035971	7,2001456	44,99896	0,03	64,99896

Tabela 25 - Resultados de discretização no afluente 2

AFLUENTE 2									
NÓS	X (m)	Y (m)	Z (m)	L (m)	So(m/m)	b (m)	α_{esq} (°)	n calha	α_{dir} (°)
1000	771737	7907434	793	0	-0,002944	5	45	0,035	48
dL (m)	771719,74	7907456,8	792,91574	28,62494	-0,002944	5,0004416	45,001472	0,035	48,002944
28,62494	771702,48	7907479,7	792,83148	57,249881	-0,002944	5,0008833	45,002944	0,035	48,005888

Tabela 25 - Resultados de discretização no afluente 2 (continuação)

771685,21	7907502,5	792,74722	85,874821	-0,002944	5,0013249	45,004416	0,035	48,008833
771667,95	7907525,3	792,66297	114,49976	-0,002944	5,0017665	45,005888	0,035	48,011777
771650,69	7907548,2	792,57871	143,1247	-0,002944	5,0022081	45,00736	0,035	48,014721
771633,43	7907571	792,49445	171,74964	-0,002944	5,0026498	45,008833	0,035	48,017665
771616,16	7907593,8	792,41019	200,37458	-0,002944	5,0030914	45,010305	0,035	48,020609
771598,9	7907616,7	792,32593	228,99952	-0,002944	5,003533	45,011777	0,035	48,023554
771581,64	7907639,5	792,24167	257,62446	-0,002944	5,0039747	45,013249	0,035	48,026498
771564,38	7907662,3	792,15741	286,2494	-0,002944	5,0044163	45,014721	0,035	48,029442
771547,11	7907685,2	792,07316	314,87434	-0,002944	5,0048579	45,016193	0,035	48,032386
771529,85	7907708	791,9889	343,49928	-0,002944	5,0052996	45,017665	0,035	48,03533
771512,59	7907730,8	791,90464	372,12422	-0,002944	5,0057412	45,019137	0,035	48,038275
771495,33	7907753,7	791,82038	400,74916	-0,002944	5,0061828	45,020609	0,035	48,041219
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
763979,81	7931042,2	614,14613	28166,941	-0,011758	6,6449659	48,579864	0,036	52,869795
764000,62	7931061,9	613,80954	28195,566	-0,011758	6,6459634	48,583854	0,036	52,87578
764021,43	7931081,5	613,47296	28224,191	-0,011758	6,6469609	48,587844	0,036	52,881766
764042,25	7931101,2	613,13637	28252,816	-0,011758	6,6479585	48,591834	0,036	52,887751
764063,06	7931120,8	612,79979	28281,441	-0,011758	6,648956	48,595824	0,036	52,893736
764083,87	7931140,5	612,4632	28310,066	-0,011758	6,6499535	48,599814	0,036	52,899721
764104,68	7931160,1	612,12661	28338,691	-0,011758	6,650951	48,603804	0,036	52,905706
764125,5	7931179,8	611,79003	28367,316	-0,011758	6,6519486	48,607794	0,036	52,911691
764146,31	7931199,4	611,45344	28395,941	-0,011758	6,6529461	48,611784	0,036	52,917676
764167,12	7931219,1	611,11686	28424,566	-0,011758	6,6539436	48,615774	0,036	52,923662
764187,94	7931238,7	610,78027	28453,191	-0,011758	6,6549411	48,619765	0,036	52,929647
764208,75	7931258,4	610,44369	28481,816	-0,011758	6,6559387	48,623755	0,036	52,935632
764229,56	7931278	610,1071	28510,441	-0,011758	6,6569362	48,627745	0,036	52,941617
764250,37	7931297,7	609,77051	28539,065	-0,011758	6,6579337	48,631735	0,036	52,947602
764271,19	7931317,3	609,43393	28567,69	-0,011758	6,6589312	48,635725	0,036	52,953587
764292	7931337	609,09734	28596,315	-0,011758	6,6599287	48,639715	0,036	52,959572

4º Passo: Lançamento das Vazões Pontuais em "Q Pontuais"

Nesta planilha deve-se relacionar todas as vazões pontuais do rio principal e seus afluentes (Tabela 14 do enunciado), lembrando que no rio principal não se devem lançar as vazões dos afluentes no rio principal. As Tabelas 26 a 28 apresentam os dados de vazões relacionados na ferramenta QUALI-TOOL.

Figura 25 – Hidrografia discretizada gerada na ferramenta Quali-Tool

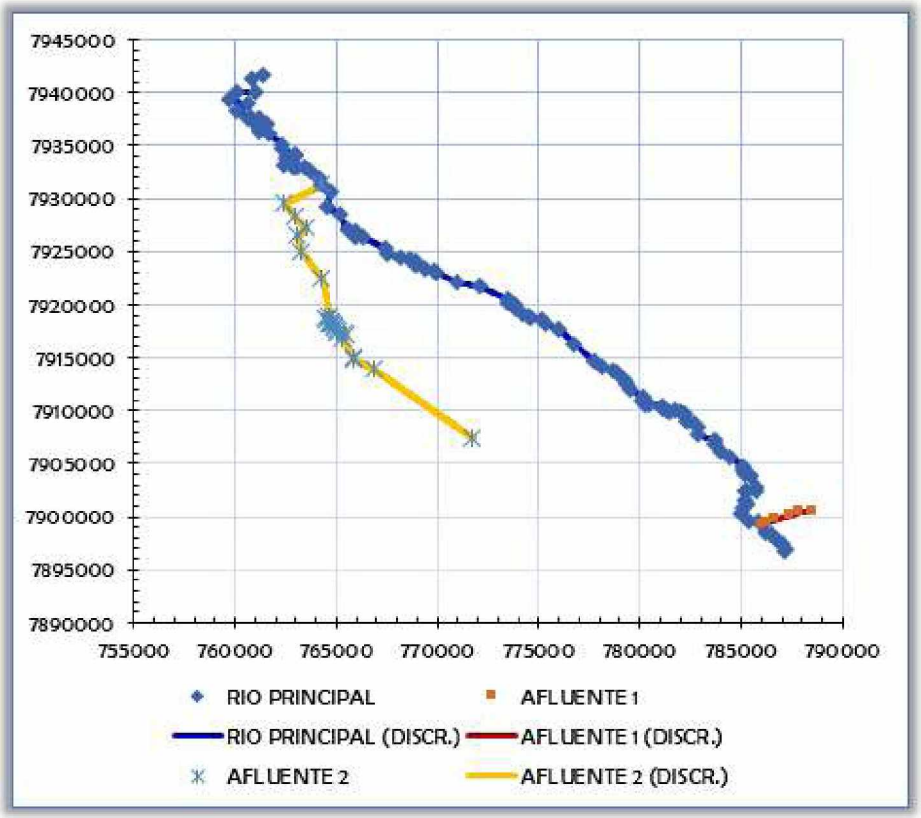


Tabela 26 – Lançamento das vazões pontuais no rio principal e em seus afluentes

RIO PRINCIPAL

Qaf (m³/s)	DESCRIÇÃO	Linj (m)	Qp (m³/s)
6,2	Abastecimento público	0	-1,2
	Demanda Agrícola	15593	-1,8
	ETE	17242	0,9

Tabela 27 – Lançamento das vazões pontuais no Afluente 1

AFLUENTE 1

Qaf (m³/s)	DESCRIÇÃO	Linj (m)	Qp (m³/s)
1,5	Indústria de alimentos	0	0,8

Tabela 28 – Lançamento das vazões pontuais no Afluente 2

AFLUENTE 2

Qaf (m³/s)	DESCRIÇÃO	Linj (m)	Qp (m³/s)
1,1	Matadouro	0	0,5

5º Passo: Lançamento das Vazões Difusas em "Q Difusas"

Nesta planilha deve-se relacionar todas as vazões difusas do rio principal e seus afluentes (Tabela 14 do enunciado). No caso deste exercício, apenas o rio prinicipal apresenta lançamento difuso e o mesmo está relacionado na Tabela 29.

Tabela 29 – Lançamento das vazões difusas no rio principal

RIO PRINCIPAL			
DESCRIÇÃO	**L inicial (m)**	**L final (m)**	**qd (m³/s x m)**
Agrícola	21759	35220	0,0001

6º Passo: Cálculos da hidrodinâmica em "Hidráulica"

Primeiramente pressiona-se o botão "1ª PARTE VAZÕES", calculam-se os resultados de comprimento, vazões e ângulos dos taludes esquerdo e direito em radianos. Estes resultados são exibidos nas primeiras colunas das Tabelas de 30 a 32. Antes de pressionar o segundo botão "2ª PARTE SOLVER", verifica-se se na coluna "FUNÇÕES" (coluna G da planilha Hidráulica da ferramenta QUALI-TOOL) consta a Equação 7 (ver Figura 26). Caso não conste equação na célula, copie a Equação 7 e arraste para as demais linhas, até o número de pontos discretizados. Copie a fórmula da primeira célula e cole nos demais afluentes (tributários).

Pressione o botão "2ª PARTE SOLVER" e aguarde até que a mensagem "Cálculo finalizado" seja mostrada na tela. Verifique se a coluna G e as demais correspondentes apresentam o valor da função igual ou próximo de 0.

Após feito, pressiona-se o botão "3ª PARTE DINÂMICA" e a ferramenta calculará os valores de velocidade, nível de água, tensão de cisalhamento e número de Froude.

Em função da grande quantidade de nós para o rio principal e seus afluenes, as planilhas com os resultados das discretizações são enormes, o que torna inviável suas apresentações integrais neste exemplo. Com isso, as Tabelas 20 a 22 trazem os primeiros e últimos quinze resultados da seção "Hidráulica". As Figuras 5 a 7 ilustram os resultados da parte hidráulica para o Rio principal e seus afluentes respectivamente.

Figura 26 – Verificação da Equação 1 na coluna “Funções”

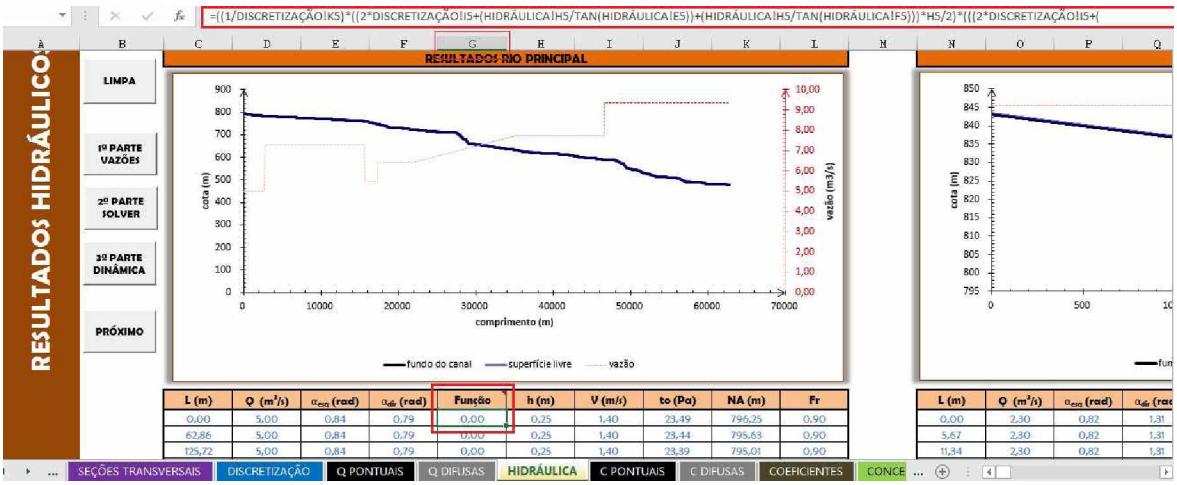


Tabela 30 – Resultados hidrodinâmicos para o rio principal

L (m)	Q (m³/s)	α_{esq} (rad)	α_{dir} (rad)	Função	h (m)	V (m/s)	to (Pa)	NA (m)	Fr
0,00	5,00	0,84	0,79	0,00	0,25	1,40	23,49	796,25	0,90
62,86	5,00	0,84	0,79	0,00	0,25	1,40	23,44	795,63	0,90
125,72	5,00	0,84	0,79	0,00	0,25	1,40	23,39	795,01	0,90
188,58	5,00	0,84	0,79	0,00	0,25	1,40	23,35	794,39	0,90
251,44	5,00	0,83	0,79	0,00	0,25	1,40	23,30	793,76	0,90
314,30	5,00	0,83	0,79	0,00	0,25	1,40	23,25	793,14	0,90
377,16	5,00	0,83	0,79	0,00	0,25	1,40	23,21	792,52	0,90
440,02	5,00	0,83	0,79	0,00	0,25	1,39	23,16	791,90	0,90
502,88	5,00	0,83	0,79	0,00	0,25	1,39	23,11	791,28	0,90
565,74	5,00	0,83	0,79	0,00	0,25	1,39	23,07	790,66	0,90
628,60	5,00	0,83	0,79	0,00	0,24	1,39	23,02	790,03	0,90
691,46	5,00	0,83	0,79	0,00	0,24	1,39	22,98	789,41	0,90
754,33	5,00	0,83	0,80	0,00	0,43	0,78	4,12	789,53	0,38
817,19	5,00	0,83	0,80	0,00	0,43	0,78	4,11	789,47	0,38
880,05	5,00	0,83	0,80	0,00	0,43	0,78	4,11	789,40	0,38
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
61917,53	9,35	0,79	0,82	0,00	0,43	0,89	4,33	481,05	0,43
61980,39	9,35	0,79	0,82	0,00	0,43	0,89	4,33	480,98	0,43
62043,25	9,35	0,79	0,82	0,00	0,43	0,89	4,33	480,91	0,43
62106,11	9,35	0,79	0,82	0,00	0,43	0,89	4,33	480,85	0,43
62168,97	9,35	0,79	0,82	0,0;0	0,32	1,20	10,82	480,51	0,68
62231,83	9,35	0,79	0,82	0,00	0,32	1,20	10,82	480,29	0,68
62294,69	9,35	0,79	0,82	0,00	0,32	1,20	10,82	480,07	0,68
62357,56	9,35	0,79	0,82	0,00	0,32	1,20	10,81	479,85	0,68
62420,42	9,35	0,79	0,82	0,00	0,32	1,20	10,81	479,63	0,68
62483,28	9,35	0,79	0,82	0,00	0,32	1,20	10,81	479,41	0,68
62546,14	9,35	0,79	0,82	0,00	0,32	1,20	10,80	479,18	0,68

Tabela 30 – Resultados hidrodinâmicos para o rio principal (continuação)

62609,00	9,35	0,79	0,82	0,00	0,32	1,20	10,80	478,96	0,68
62671,86	9,35	0,79	0,82	0,00	0,32	1,20	10,80	478,74	0,68
62734,72	9,35	0,79	0,82	0,00	0,32	1,20	10,79	478,52	0,68
62797,58	9,35	0,79	0,82	0,00	0,32	1,20	10,79	478,30	0,68

Tabela 31 – Resultados hidrodinâmicos para o afluente 1

L (m)	Q (m^3/s)	α_{esq} (rad)	α_{dir} (rad)	Função	h (m)	V (m/s)	to (Pa)	NA (m)	Fr
0,00	2,30	0,82	1,31	0,00	0,29	1,30	16,04	843,29	0,78
5,67	2,30	0,82	1,31	0,00	0,29	1,30	16,03	843,25	0,78
11,34	2,30	0,82	1,31	0,00	0,29	1,30	16,03	843,22	0,78
17,02	2,30	0,82	1,31	0,00	0,29	1,30	16,03	843,18	0,78
22,69	2,30	0,82	1,31	0,00	0,29	1,30	16,02	843,14	0,78
28,36	2,30	0,82	1,31	0,00	0,29	1,30	16,02	843,11	0,78
34,03	2,30	0,82	1,31	0,00	0,29	1,30	16,02	843,07	0,78
39,70	2,30	0,82	1,31	0,00	0,29	1,30	16,01	843,04	0,78
45,38	2,30	0,82	1,31	0,00	0,29	1,30	16,01	843,00	0,78
51,05	2,30	0,82	1,31	0,00	0,29	1,30	16,01	842,97	0,78
56,72	2,30	0,82	1,30	0,00	0,28	1,30	16,00	842,93	0,78
62,39	2,30	0,82	1,30	0,00	0,28	1,30	16,00	842,90	0,78
68,06	2,30	0,82	1,30	0,00	0,28	1,30	16,00	842,86	0,78
73,74	2,30	0,82	1,30	0,00	0,28	1,30	15,99	842,83	0,78
79,41	2,30	0,82	1,30	0,00	0,28	1,30	15,99	842,79	0,78
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2750,94	2,30	0,79	1,14	0,00	0,16	1,94	55,18	804,97	1,54
2756,61	2,30	0,79	1,14	0,00	0,16	1,94	55,17	804,76	1,54
2762,28	2,30	0,79	1,14	0,00	0,16	1,94	55,16	804,56	1,54
2767,95	2,30	0,79	1,14	0,00	0,16	1,94	55,15	804,35	1,54
2773,63	2,30	0,79	1,14	0,00	0,16	1,94	55,14	804,15	1,54
2779,30	2,30	0,79	;1,14	0,00	0,16	1,94	55,13	803,95	1,54
2784,97	2,30	0,79	1,14	0,00	0,16	1,94	55,11	803,74	1,54
2790,64	2,30	0,79	1,14	0,00	0,16	1,94	55,10	803,54	1,54
2796,31	2,30	0,79	1,14	0,00	0,16	1,94	55,09	803,33	1,54
2801,99	2,30	0,79	1,14	0,00	0,16	1,94	55,08	803,13	1,54
2807,66	2,30	0,79	1,14	0,00	0,16	1,94	55,07	802,92	1,54
2813,33	2,30	0,79	1,14	0,00	0,16	1,94	55,06	802,72	1,54
2819,00	2,30	0,79	1,14	0,00	0,16	1,94	55,05	802,52	1,54
2824,67	2,30	0,79	1,13	0,00	0,16	1,94	55,03	802,31	1,54
2830,35	2,30	0,79	1,13	0,00	0,16	1,94	55,02	802,11	1,54

Tabela 32 – Resultados hidrodinâmicos para o afluente 2

L (m)	Q (m^3/s)	α_{esq} (rad)	α_{dir} (rad)	Função	h (m)	V (m/s)	to (Pa)	NA (m)	Fr
0,00	1,60	0,79	0,84	0,00	0,35	0,87	8,93	793,35	0,47
28,62	1,60	0,79	0,84	0,00	0,35	0,87	8,93	793,26	0,47
57,25	1,60	0,79	0,84	0,00	0,35	0,87	8,93	793,18	0,47
85,87	1,60	0,79	0,84	0,00	0,35	0,87	8,93	793,09	0,47
114,50	1,60	0,79	0,84	0,00	0,35	0,87	8,93	793,01	0,47
143,12	1,60	0,79	0,84	0,00	0,35	0,87	8,93	792,92	0,47
171,75	1,60	0,79	0,84	0,00	0,35	0,87	8,93	792,84	0,47
200,37	1,60	0,79	0,84	0,00	0,35	0,87	8,93	792,76	0,47
229,00	1,60	0,79	0,84	0,00	0,35	0,87	8,93	792,67	0,47
257,62	1,60	0,79	0,84	0,00	0,35	0,87	8,93	792,59	0,47
286,25	1,60	0,79	0,84	0,00	0,35	0,87	8,93	792,50	0,47
314,87	1,60	0,79	0,84	0,00	0,35	0,87	8,93	792,42	0,47
343,50	1,60	0,79	0,84	0,00	0,35	0,87	8,93	792,33	0,47
372,12	1,60	0,79	0,84	0,00	0,35	0,87	8,93	792,25	0,47
400,75	1,60	0,79	0,84	0,00	0,35	0,87	8,93	792,17	0,47
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
28195,57	1,60	0,85	0,92	0,00	0,21	1,14	22,59	614,02	0,80
28224,19	1,60	0,85	0,92	0,00	0,21	1,14	22,59	613,68	0,80
28252,82	1,60	0,85	0,92	0,00	0,21	1,14	22,59	613,34	0,80
28281,44	1,60	0,85	0,92	0,00	0,21	1,14	22,58	613,01	0,80
28310,07	1,60	0,85	0,92	0,00	0,21	1,14	22,58	612,67	0,80
28338,69	1,60	0,85	0,92	0,00	0,21	1,14	22,58	612,33	0,80
28367,32	1,60	0,85	0,92	0,00	0,21	1,14	22,58	612,00	0,80
28395,94	1,60	0,85	0,92	0,00	0,21	1,14	22,58	611,66	0,80
28424,57	1,60	0,85	0,92	0,00	0,21	1,14	22,57	611,32	0,80
28453,19	1,60	0,85	0,92	0,00	0,21	1,14	22,57	610,99	0,80
28481,82	1,60	0,85	0,92	0,00	0,21	1,14	22,57	610,65	0,80
28510,44	1,60	0,85	0,92	0,00	0,21	1,14	22,57	610,31	0,80
28539,07	1,60	0,85	0,92	0,00	0,21	1,14	22,57	609,98	0,80
28567,69	1,60	0,85	0,92	0,00	0,21	1,14	22,56	609,64	0,80
28596,32	1,60	0,85	0,92	0,00	0,21	1,14	22,56	609,30	0,80

Figura 27– Resultados hidrodinâmicos gerados em Quali-Tool para o rio principal

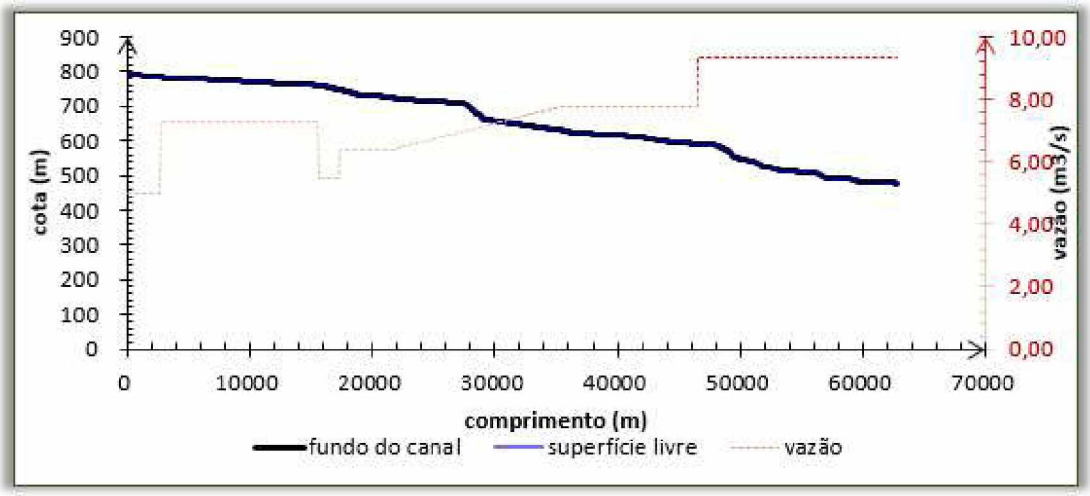


Figura 28 – Resultados hidrodinâmicos gerados no Quali-Tool para o afluente 1

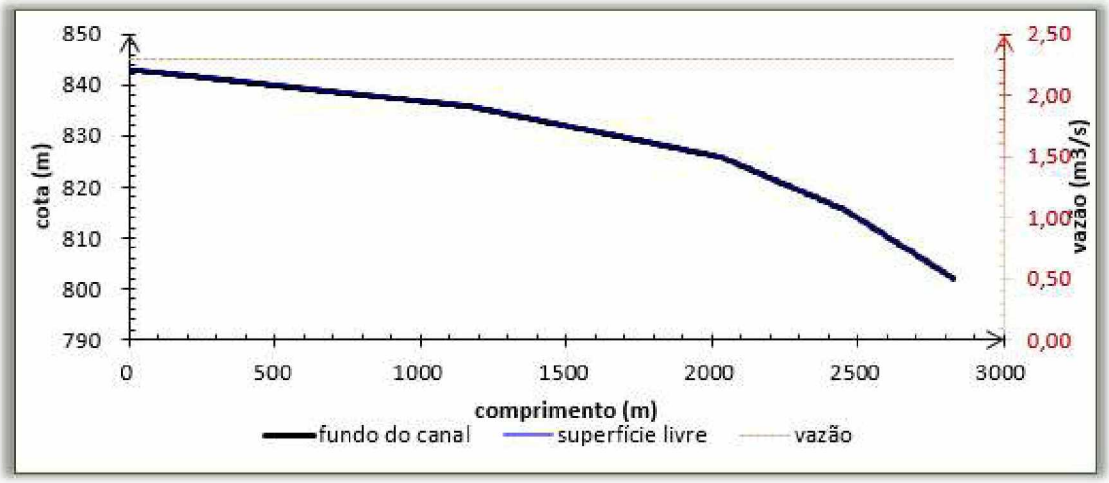
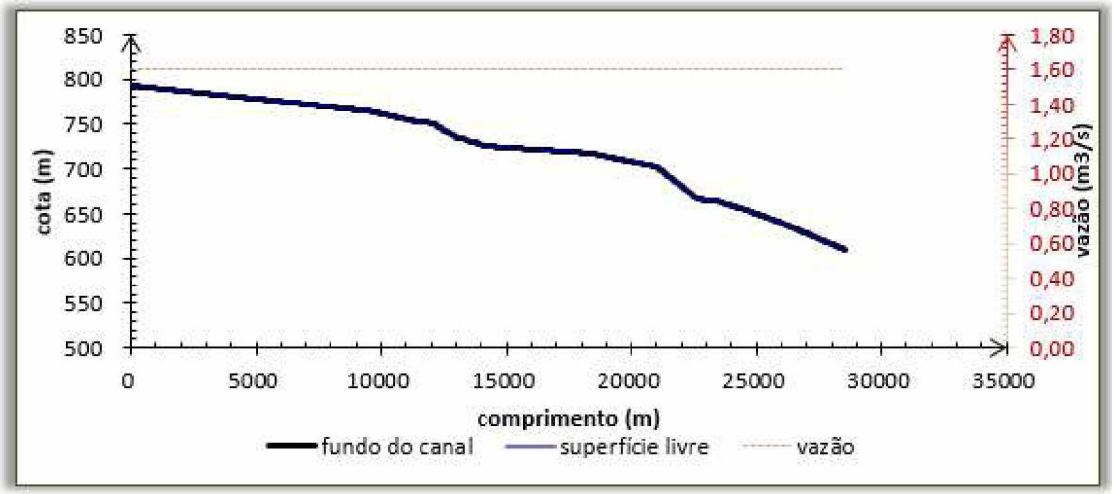


Figura 29 – Resultados hidrodinâmicos gerados no Quali-Tool para o afluente 2



7º Passo: Lançamento das concentrações para lançamentos pontuais "C Pontuais"

Nesta planilha deve-se relacionar todas as concentrações dos lançamentos pontuais (Tabela 15 do enunciado). Para facilitar e garantir que não esqueçam-se quais os lançamentos e retiradas pontuais, pode-se importar os dados da planilha "Q Pontuais" clicando em no botão "Importar de Q pontuais", neste caso, os dados irão aparecer em azul. As Tabelas 33 a 35 apresentam os dados de concentrações relacionados no QUALI-TOOL.

Tabela 33 - Lançamento das concentrações pontuais para o rio principal

RIO PRINCIPAL

CONDIÇÕES A MONTANTE DO TRECHO DE ANÁLISE									
Qaf (m^3/s)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	CA (mg/L)	NO (mg/L)	N_{amon} (mg/L)	Nitrato (mg/L)	P_{TOT} (mg/L)	E-coli (NPM)	Metais
6,2	6,3	5	13	0,3	0,4	0,02	0,7		

DESCRIÇÃO	Linj (m)	Qp (m^3/s)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	CA (mg/L)	NO (mg/L)	N_{amon} (mg/L)	Nitrato (mg/L)	P_{TOT} (mg/L)	E-coli (NPM)	Me-tais
Abastecimento público	0	-1,2									
Demanda Agrícola	15593	-1,8									
ETE	17242	0,9	1,5	50	140	1,3	15	0,07	4,5		

Tabela 34 - Lançamento das concentrações pontuais para o afluente 1

AFLUENTE 1

CONDIÇÕES A MONTANTE DO TRECHO DE ANÁLISE									
Qaf (m^3/s)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	CA (mg/L)	NO (mg/L)	N_{amon} (mg/L)	Nitrato (mg/L)	P_{TOT} (mg/L)	E-coli (NPM)	Metais
1,5	6	100	12	0,1	0,2	0,01	0,6		

DESCRIÇÃO	Linj (m)	Qp (m^3/s)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	CA (mg/L)	NO (mg/L)	N_{amon} (mg/L)	Nitrato (mg/L)	P_{TOT} (mg/L)	E-coli (NPM)	Metais
Indústria de alimen-tos	0	0,8	1	100	150	25	8	2	10		

Tabela 35 - Lançamento das concentrações pontuais para o afluente 2

AFLUENTE 2										
CONDIÇÕES A MONTANTE DO TRECHO DE ANÁLISE										
Qaf (m³/s)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	CA (mg/L)	NO (mg/L)	N_{amon} (mg/L)	Nitrato (mg/L)	P_{TOT} (mg/L)	E-coli (NPM)	Metais	
1,1	5,8	3	8	0,2	0,3	0,02	0,5			

DESCRIÇÃO	Linj (m)	Qp (m³/s)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	CA (mg/L)	NO (mg/L)	N_{amon} (mg/L)	Nitrato (mg/L)	P_{TOT} (mg/L)	E-coli (NPM)	Metais
Matadouro	0	0,5	0,5	440	850	1,5	4,5	0,8	20		

8º Passo: Lançamento das concentrações para lançamentos difusos "C Difusas"

Nesta planilha deve-se relacionar todas as concentrações dos lançamentos difusos (Tabela 15 do enunciado). Para facilitar e garantir que não esqueçam-se quais os lançamentos e retiradas difusas, pode-se importar os dados da planilha "Q Difusas" clicando em no botão "Importar de Q Difusas", neste caso, os dados irão aparecer em azul. A Tabela 36 apresenta os dados de concentrações relacionados no QUALI-TOOL.

Tabela 36 - Lançamento das concentrações difusas para o rio principal

CONTRIBUIÇÕES E RETIRADAS DIFUSAS DO RIO PRINCIPAL												
DESCRI-ÇÃO	L inicial (m)	L final (m)	qd (m³/s)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	CA (mg/L)	NO (mg/L)	Namon (mg/L)	Nitrato (mg/L)	P_{TOT} (mg/L)	E-coli (NPM)	Me-tais
Agrícola	21759	35220	0,0001	5,8	100	120	0,9	0,6	2,5	0,5		

9º Passo: Lançamento dos coeficientes dos processos físicos e bioquímicos em "Coeficientes"

A Tabela 37 relaciona os coeficientes que devem ser usados neste exemplo do QUALI-TOOL, apresentada parcialmente, omitindo as colunas dos parâmetros E-Coli e Metais, os quais não estão sendo simulados. Nesse exemplo prático, os coeficientes são iguais para todos os rios e trechos Então, basta copiar os valores da Tabela 16 para o rio principal e afluentes 1 e 2, modificando o comprimento final do rio (destacado em amarelo). É importante observar, na Tabela

37, que as células referentes ao coeficiente de reaeração k_2 estão vazias, o que significa que foram utilizadas equações da literatura para a sua estimativa, como pedido no enunciado.

É importante ressaltar que em outros exercícios ou em análises reais é comum que os valores dos coeficientes se modifiquem ao longo dos trechos em função dos lançamentos que ocorrem através deste. Fixou-se **para este exercício** em função do requisitado no enunciado. O valor

Tabela 37 – Coeficientes utilizados no exemplo

		OD		DBO			CONTAMINANTE ARBITRÁRIO		NITROGÊNIO					V_{SP} (m/d^{-1})	
L(m)	T (°C)	K2 (d^{-1})	S_d' (g/m².d)	K_d (d^{-1})	VS_{MO} (m/d^{-1})	L_{rd} (g/m².d)	VS_{CA} (m/d^{-1})	S_{CA} (g/m².d^{-1})	VS_{NO} (m/d^{-1})	K_{OA} (d^{-1})	K_{AN} (d^{-1})	K_{NN} (d^{-1})	S_{AMON} (g/m².d)	VS_P (m/d^{-1})	K_P (d^{-1})
0,00	22		0,00	0,4	0,1125	0,00	0,01	0,00	0,045	0,21	0,2	0,5	0,00	0,023	0,25
62797,58	22		0,00	0,4	0,1125	0,00	0,01	0,00	0,045	0,21	0,2	0,5	0,00	0,023	0,25

10º Passo: Cálculo das concentrações (resultados) finais em "Concentrações"

Nesta planilha não existem lançamentos a serem feitos. Inicialmente, pressiona-se o botão "IMPORTAR COEFICIENTES" e a ferramenta irá discretizar os coeficientes de acordo com os fornecidos para cada segmento e corrigi-los para a temperatura real. Após isso, pressiona-se os botões dos parâmetros a serem calculados. Neste caso, DBO, OD, nitrogênio e suas frações e Fósforo Total e Sólidos Suspensos, que estão inseridos como contaminantes arbitrários. Em função da grande quantidade de nós para o rio principal e seus afluenes, as planilhas com os resultados das discretizações são enormes, o que torna inviável suas apresentações integrais neste exemplo. Com isso, as Tabelas 38 a 40 trazem os primeiros e últimos quinze resultados da seção "Concentrações".

Tabela 38 – Resultados de concentrações do Rio Principal

OD (mg/L)	DBO (mg/L)	Contaminantes Arbitrários(mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)
6,300	5,000	13,000	0,300	0,400	0,020	0,700
6,376	4,998	12,997	0,300	0,400	0,020	0,700
6,448	4,995	12,995	0,300	0,400	0,020	0,700
6,517	4,993	12,992	0,300	0,400	0,020	0,700
6,583	4,991	12,989	0,300	0,400	0,020	0,699
6,646	4,988	12,986	0,300	0,400	0,020	0,699
6,706	4,986	12,984	0,300	0,400	0,020	0,699

Tabela 38 – Resultados de concentrações do Rio Principal (continuação)

6,763	4,984	12,981	0,300	0,400	0,020	0,699
6,818	4,981	12,978	0,300	0,400	0,020	0,699
6,870	4,979	12,975	0,300	0,400	0,020	0,699
6,920	4,977	12,973	0,300	0,400	0,020	0,699
6,967	4,974	12,970	0,300	0,400	0,020	0,699
7,048	4,971	12,967	0,300	0,400	0,020	0,698
7,121	4,968	12,964	0,300	0,400	0,020	0,698
7,189	4,965	12,961	0,300	0,400	0,020	0,698
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
8,057	34,629	87,569	1,969	2,519	0,550	2,241
8,057	34,609	87,552	1,969	2,519	0,550	2,240
8,057	34,589	87,536	1,969	2,519	0,550	2,240
8,057	34,570	87,519	1,969	2,519	0,550	2,239
8,057	34,550	87,503	1,969	2,519	0,550	2,239
8,057	34,533	87,486	1,968	2,519	0,550	2,238
8,058	34,517	87,470	1,968	2,519	0,550	2,238
8,058	34,500	87,453	1,968	2,519	0,550	2,237
8,058	34,484	87,437	1,968	2,519	0,550	2,237
8,058	34,468	87,420	1,968	2,519	0,550	2,236
8,058	34,451	87,404	1,967	2,519	0,550	2,236
8,058	34,435	87,387	1,967	2,519	0,550	2,235
8,059	34,418	87,371	1,967	2,519	0,550	2,235
8,059	34,402	87,354	1,967	2,519	0,550	2,234
8,059	34,385	87,337	1,967	2,519	0,550	2,234

Tabela 39 – Resultados de concentrações para o Afluente 1

OD (mg/L)	DBO (mg/L)	Contaminantes Arbitrários(mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)
4,2609	93,0435	94,7826	8,7609	2,9130	0,7022	3,8696
4,2711	93,0396	94,7809	8,7608	2,9130	0,7022	3,8695
4,2814	93,0357	94,7793	8,7607	2,9131	0,7022	3,8694
4,2916	93,0318	94,7776	8,7606	2,9131	0,7022	3,8694
4,3017	93,0279	94,7759	8,7606	2,9131	0,7022	3,8693
4,3119	93,0240	94,7743	8,7605	2,9131	0,7022	3,8692
4,3220	93,0201	94,7726	8,7604	2,9131	0,7022	3,8692
4,3320	93,0162	94,7709	8,7603	2,9131	0,7022	3,8691
4,3421	93,0123	94,7692	8,7603	2,9131	0,7022	3,8690
4,3521	93,0084	94,7676	8,7602	2,9131	0,7022	3,8689
4,3620	93,0045	94,7659	8,7601	2,9131	0,7022	3,8689
4,3720	93,0006	94,7642	8,7601	2,9131	0,7022	3,8688
4,3819	92,9966	94,7625	8,7600	2,9131	0,7022	3,8687

Tabela 39 – Resultados de concentrações para o Afluente 1 (continuação)

4,3918	92,9927	94,7608	8,7599	2,9131	0,7022	3,8687
4,4016	92,9888	94,7592	8,7598	2,9131	0,7022	3,8686
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
6,6043	91,2025	93,9050	8,7222	2,9149	0,7022	3,8386
6,6060	91,1991	93,9030	8,7221	2,9149	0,7022	3,8385
6,6077	91,1956	93,9011	8,7220	2,9149	0,7022	3,8385
6,6093	91,1921	93,8991	8,7219	2,9149	0,7022	3,8384
6,6110	91,1886	93,8972	8,7219	2,9149	0,7022	3,8384
6,6126	91,1851	93,8952	8,7218	2,9149	0,7022	3,8383
6,6143	91,1816	93,8933	8,7217	2,9149	0,7022	3,8382
6,6159	91,1781	93,8913	8,7216	2,9149	0,7022	3,8382
6,6176	91,1746	93,8893	8,7215	2,9149	0,7022	3,8381
6,6192	91,1712	93,8874	8,7214	2,9149	0,7022	3,8381
6,6209	91,1677	93,8854	8,7213	2,9149	0,7022	3,8380
6,6225	91,1642	93,8835	8,7213	2,9149	0,7022	3,8380
6,6241	91,1607	93,8815	8,7212	2,9149	0,7022	3,8379
6,6257	91,1572	93,8795	8,7211	2,9149	0,7022	3,8379
6,6274	91,1537	93,8776	8,7210	2,9149	0,7022	3,8378

Tabela 40 – Resultados de concentrações para o afluente 2

OD (mg/L)	DBO (mg/L)	Contaminantes Arbitrários(mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)
4,1438	139,5625	271,1250	0,6063	1,6125	0,2638	6,5938
4,1727	139,5218	271,0951	0,6062	1,6125	0,2638	6,5929
4,2012	139,4812	271,0652	0,6062	1,6125	0,2638	6,5920
4,2294	139,4406	271,0353	0,6062	1,6125	0,2638	6,5912
4,2572	139,3999	271,0053	0,6061	1,6125	0,2638	6,5903
4,2846	139,3593	270,9754	0,6061	1,6125	0,2638	6,5895
4,3116	139,3187	270,9455	0,6061	1,6125	0,2638	6,5886
4,3383	139,2781	270,9156	0,6060	1,6125	0,2638	6,5878
4,3646	139,2375	270,8857	0,6060	1,6125	0,2638	6,5869
4,3906	139,1969	270,8558	0,6060	1,6125	0,2638	6,5861
4,4162	139,1564	270,8259	0,6059	1,6125	0,2638	6,5852
4,4415	139,1158	270,7960	0,6059	1,6125	0,2638	6,5844
4,4664	139,0753	270,7661	0,6059	1,6125	0,2638	6,5835
4,4910	139,0347	270,7362	0,6058	1,6125	0,2638	6,5827
4,5153	138,9942	270,7063	0,6058	1,6125	0,2638	6,5818
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
6,7668	105,0924	241,1284	0,5729	1,6127	0,2638	5,8410

Tabela 40 – Resultados de concentrações para o afluente 2 (continuação)

6,7675	105,0623	241,0944	0,5729	1,6127	0,2638	5,8403
6,7681	105,0322	241,0604	0,5728	1,6127	0,2638	5,8397
6,7688	105,0021	241,0264	0,5728	1,6127	0,2638	5,8390
6,7694	104,9720	240,9923	0,5728	1,6127	0,2638	5,8384
6,7701	104,9419	240,9583	0,5727	1,6127	0,2638	5,8377
6,7707	104,9119	240,9243	0,5727	1,6127	0,2638	5,8371
6,7713	104,8818	240,8902	0,5726	1,6127	0,2638	5,8364
6,7720	104,8517	240,8562	0,5726	1,6127	0,2638	5,8358
6,7726	104,8217	240,8222	0,5726	1,6127	0,2638	5,8351
6,7733	104,7916	240,7882	0,5725	1,6127	0,2638	5,8345
6,7739	104,7616	240,7541	0,5725	1,6127	0,2638	5,8338
6,7746	104,7316	240,7201	0,5725	1,6127	0,2638	5,8332
6,7752	104,7015	240,6861	0,5724	1,6127	0,2638	5,8325
6,7759	104,6715	240,6521	0,5724	1,6127	0,2638	5,8319

As Figura 30, 31 e 32 apresentam, respectivamente, os resultados ao longo do curso de água de OD/Fósforo_total, DBO/Contaminantes_arbitrários e Nitrogênio orgânico/Amônia/Nitrato em função do comprimento do rio principal.

Figura 30 – Resultados OD e Fósforo Total para o rio principal

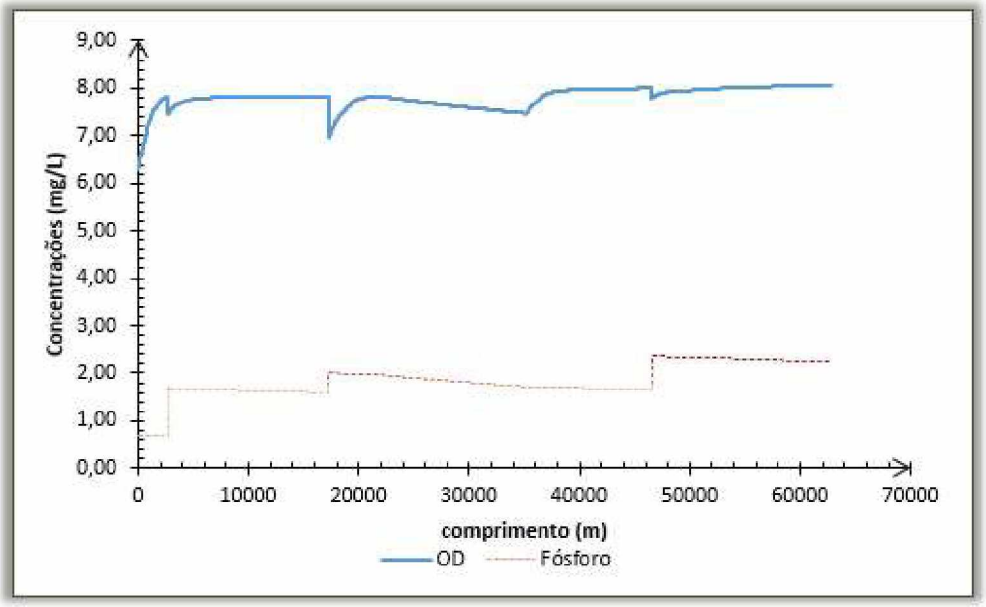


Figura 31 – Resultados DBO e Contaminantes Arbitrários para o rio principal

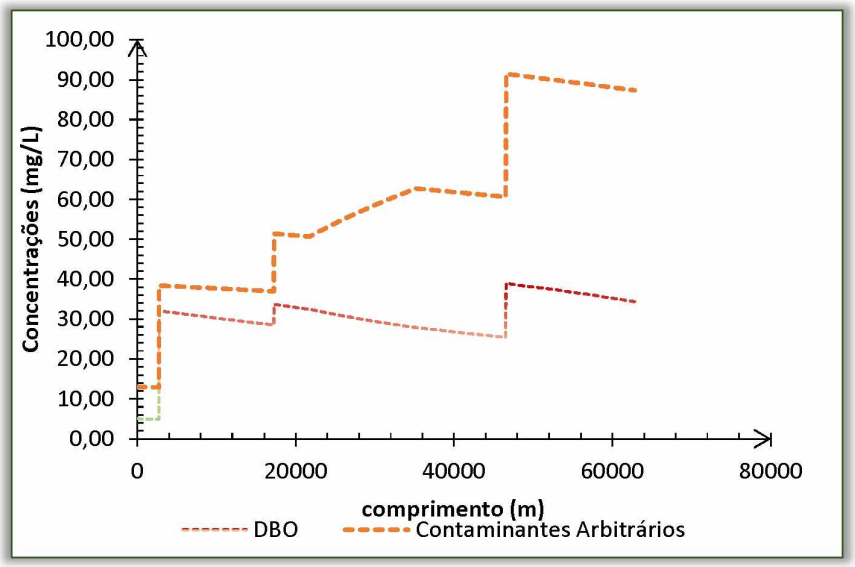
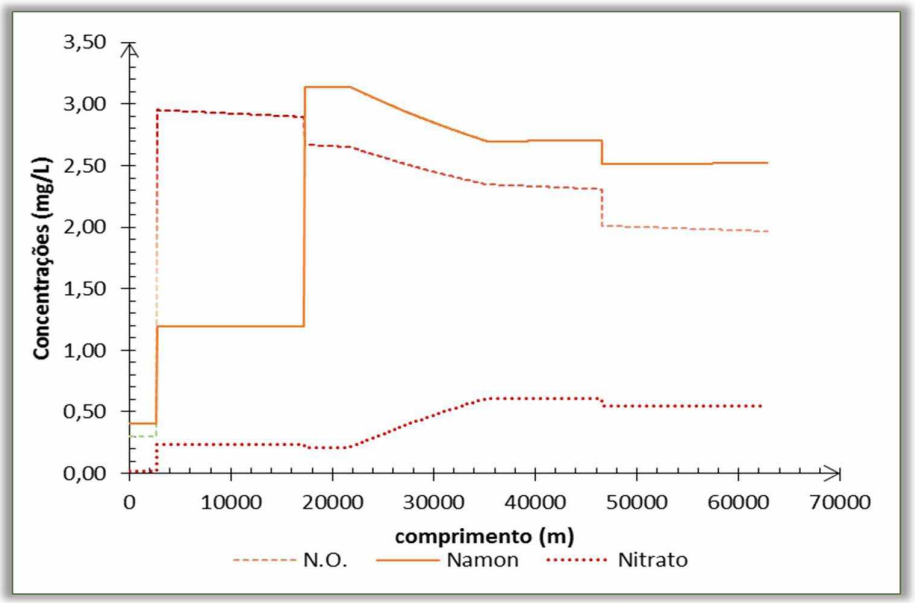


Figura 32 – Resultados Nitrogênio e suas frações para o rio principal



Após gerar os perfis longitudinais para os diversos parâmetros de qualidade da água, é importante avaliar a consistência dos resultados alcançados. Neste contexto, deve-se verificar se as entradas e saídas pontuais causam variações localizadas nos perfis dos diversos parâmetros de qualidade da água. Analisar se o posicionamento longitudinal dessas variações condiz com a localização das entradas e saídas. A mesma análise deve ser feita para as entradas difusas.

Além dos perfis do rio principal também são gerados os perfis dos afluentes que foram ocultados devido ao anunciado solicitar somente os resultados do rio principal (Junco).

4.2 COMPARAÇÃO COM OUTRAS FERRAMENTAS

A fim de avaliar a acurácia dos resultados gerados na ferramenta QUALI-TOOL, as mesmas simulações do exercício resolvido no item anterior foram realizadas nas ferramentas GESCAL (PAREDES-ARQUIOLA et al,, 2010a e 2010b) e QUAL-UFMG (VON SPERLING, 2007). Mais informações sobre essas ferramentas podem ser encontradas no item 2.4 (Capítulo 2) desta dissertação.

4.2.2 PECULIARIDADES DAS FERRAMENTAS

Para a estruturação completa da topologia, além da introdução dos dados geométricos e hidráulicos, dos coeficientes dos processos físicos e bioquímicos, dos dados quantitativos e qualitativos mencionados anteriormente, informações adicionais são solicitadas pelas ferramentas computacionais, tais como comprimento longitudinal em cada trecho de rio, temperatura da água ao longo do trecho de rio estudado e as relações entre as características hidráulicas. Com isso, seguem os dados adicionais:

a) a profundidade líquida foi estimada por meio da equação de Manning nas três ferramentas;
b) a velocidade média do escoamento foi calculada por meio da equação da continuidade nas três ferramentas;
c) a temperatura da água foi mantida fixa em 22ºC em todas as simulações;
d) as simulações não consideraram o termo difusivo na propagação do poluente na massa líquida (na equação 13, o coeficiente de difusão turbulenta Dx é nulo);
e) quanto à discretização dos trechos estudados, foram adotados 50 trechos no rio Jacinto (tributário 1), 500 trechos no rio Crino (tributário 2) e 1000 trechos no rio Junco (rio principal);
f) quanto à declividade longitudinal, as ferramentas trabalham de forma diferente.

A ferramenta QUAL-UFMG, a princípio, não solicita a declividade de fundo como dado de entrada, pois estima o coeficiente de reaeração k_2 por meio de relação potencial com a vazão

do escoamento. Para as comparações, foram feitas adaptações em QUAL-UFMG, na qual estimou-se k_2 a partir de equações empíricas dependentes da velocidade média do escoamento e da profundidade líquida. Neste contexto, os parâmetros hidráulicos foram estimados com a equação de Manning, mantendo-se a declividade longitudinal fixa para o rio principal e tributários.

A ferramenta GESCAL permite estimar os parâmetros hidráulicos a partir da equação de Manning ou por relações potenciais da velocidade média com a vazão, da profundidade líquida com a vazão e da largura de superfície com a vazão. Na criação da topologia hídrica, quando o usuário opta pela equação de Manning, os valores da largura de base, da declividade de fundo, da declividade de talude e da rugosidade equivalente são únicos para cada trecho da topologia. Esta metodologia traz certas limitações, principalmente quando o trecho é extenso.

Já na ferramenta QUALI-TOOL, a topologia do sistema hídrico é formada a partir de pontos georreferenciados (X, Y e Z) obtidos em ferramenta SIG. A declividade longitudinal de fundo é fixa entre dois pontos. Neste contexto, a maior quantidade de pontos representativos da topologia aumenta a discretização da declividade longitudinal de fundo. Esta é a vantagem principal da ferramenta QUALI-TOOL frente às outras ferramentas analisadas.

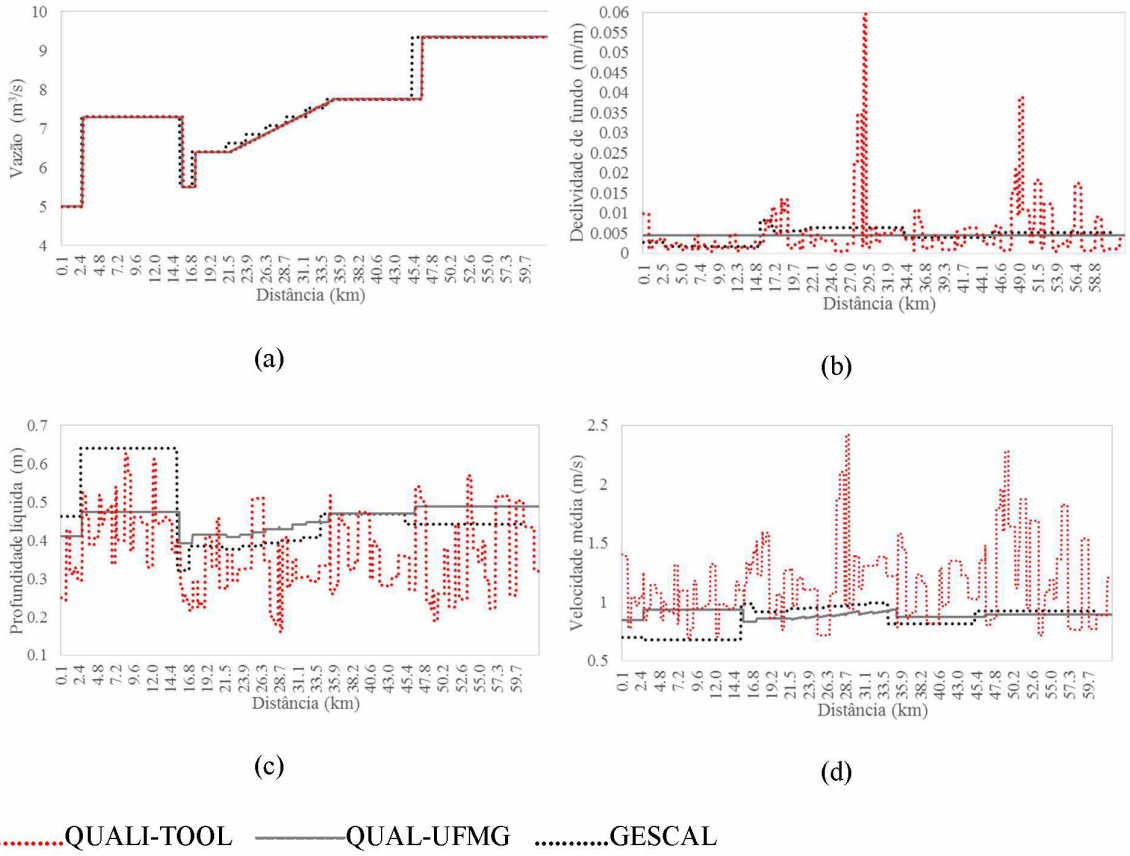
4.2.3 RESULTADOS

A Figura 33 traz os perfis longitudinais da vazão, declividade de fundo, profundidade líquida e velocidade média no rio Junco (rio principal), obtidos por meio das simulações nas ferramentas QUALI-TOOL, QUAL-UFMG e GESCAL.

De acordo com a Figura 33a, observa-se que o balanço hídrico apresentou uma mesma tendência para as três ferramentas. Na ferramenta GESCAL, as pequenas oscilações no posicionamento dos picos de vazão estão relacionadas às imprecisões na discretização longitudinal, quando comparado com as outras duas ferramentas. Ainda na ferramenta GESCAL, a evolução da vazão no trecho com contribuição difusa agrícola (entre os pontos E e F na Figura 23) não seguiu a mesma tendência, pois o incremento difuso foi feito através de seis entradas pontuais igualmente distribuídas, o que mostra uma limitação desta ferramenta. Nas ferramentas QUAL-UFMG e QUALI-TOOL, respectivamente, utilizaram-se incrementos difusos únicos para cada 100 m (0,0063 m3/s) e 63 m (0,01 m3/s) de curso de água.

A Figura 33b traz a declividade longitudinal de fundo no rio Junco (rio principal) estimada nas três ferramentas. Observa-se acentuadas variações na ferramenta QUALI-TOOL quando comparada como as outras duas ferramentas, justificado pela metodologia adotada para a criação da topologia do sistema hídrico a partir de pontos georreferenciados. Nas simulações em QUAL-UFMG foram adotados valores fixos de 0,0044 m/m no rio Junco (rio principal), 0,0191 m/m no rio Jacinto (tributário 1) e 0,0050 m/m no rio Crino (tributário 2). Nas simulações em GES-CAL foram obtidos valores de 0,0016 a 0,0082 m/m no rio Junco (rio principal), 0,0086 e 0,0265 m/m no rio Jacinto (tributário 1) e 0,0020 a 0,009 m/m no rio Crino (tributário 2). Nas simulações em QUALI-TOOL houve maior discretização longitudinal da declividade de fundo, variando entre 0,0004 a 0,0596 m/m no rio Junco (rio principal), 0,0062 a 0,0359 m/m no rio Jacinto (tributário 1) e 0,0017 a 0,0255 dia-1 no rio Crino (tributário 2).

Figura 33 - Perfis longitudinais do rio Junco: (a) Vazão; (b) declividade de fundo; (c) profundidade líquida; (d) velocidade média



As Figuras 33c e 33d apresentam, respectivamente, a profundidade líquida e velocidade média no rio Junco estimadas nas três ferramentas. Obviamente, em função do uso da equação de

Manning, as elevadas oscilações da declividade longitudinal de fundo obtidas na ferramenta QUALI-TOOL são carregadas nas estimativas da profundidade líquida e da velocidade média. Focando-se na Figura 4c, existe uma tendência das profundidades líquidas obtidas na ferramenta QUALI-TOOL resultarem menores que s obtidas nas outras duas ferramentas. Consequentemente, de acordo com a Figura 33d, as velocidades médias obtidas na ferramenta QUALI-TOOL tendem a ser maiores que as obtidas nas outras duas ferramentas.

De acordo com a Figura 33c, ao longo do rio Junco, foram obtidos valores de profundidade líquida entre 0,16 a 0,62 m na ferramenta QUALI-TOOL, 0,32 a 0,64 m em GESCAL e 0,39 a 0,49 m em QUAL-UFMG. Já na Figura 33d, a velocidade média do escoamento permaneceu entre 0,69 a 2,42 m/s na ferramenta QUALI-TOOL, 0,67 a 0,99 m/s em GESCAL e 0,83 a 0,94 m/s em QUAL-UFMG.

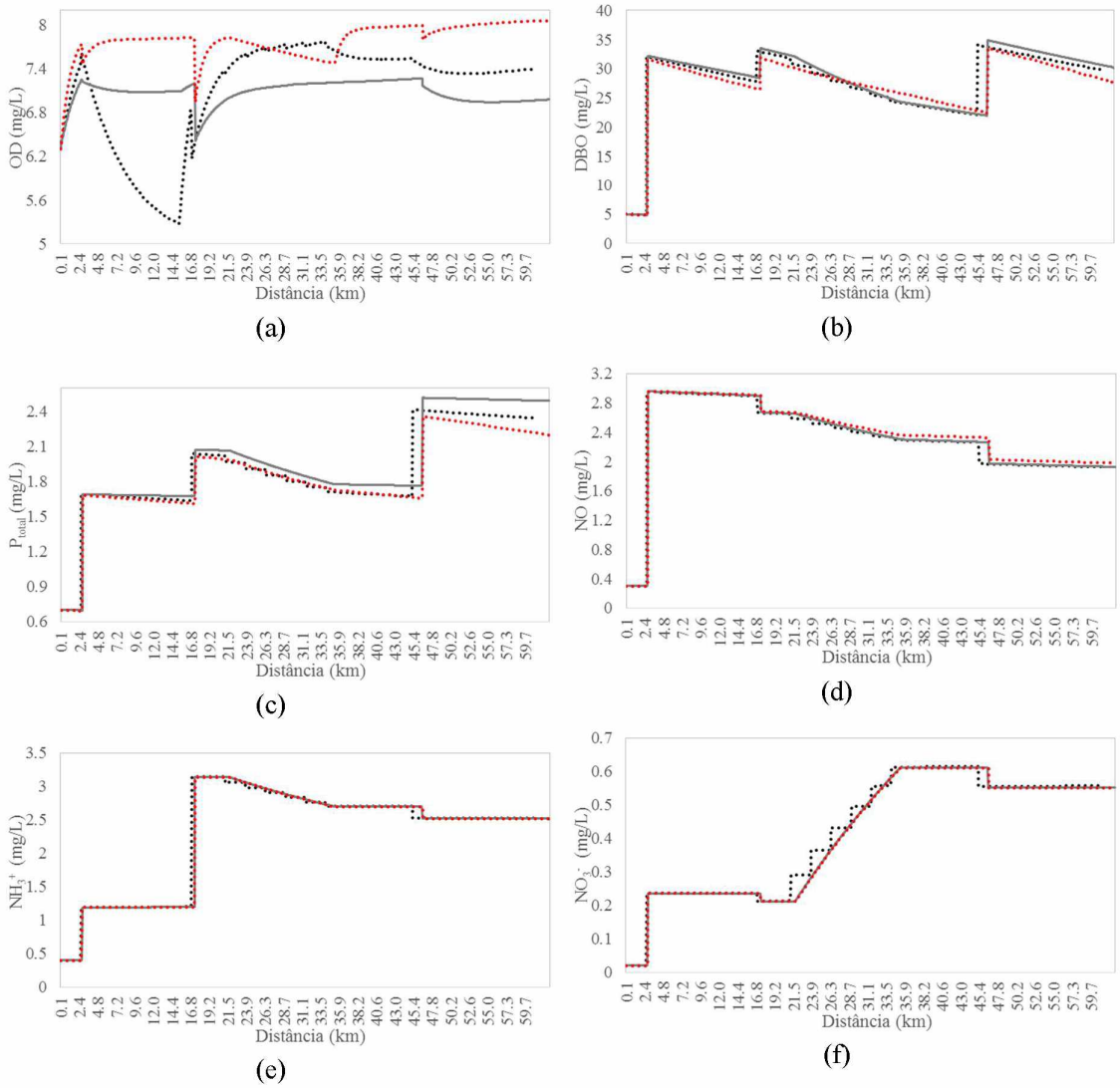
A Figura 34 traz os perfis longitudinais, ao longo do rio Junco (rio principal), dos parâmetros de qualidade da água simulados nas ferramentas QUALI-TOOL, QUAL-UFMG e GESCAL.

De acordo com a Figura 34a, observa-se certa inconsistência entre os perfis de OD simulados nas três ferramentas. Esta inconsistência tem relação direta com a metodologia adotada neste artigo para estimar o coeficiente de reaeração k_2 pois, focando-se na equação (16), apenas o coeficiente k_2 não é fixo nas simulações. Ainda na equação (13), a desconsideração da demanda de fundo Sd evitou a influência da profundidade líquida h no perfil de OD.

Como já descrito anteriormente, para a estimativa do coeficiente de reaeração natural k_2 (dia^{-1}) foram utilizadas as equações empíricas complementares de O´Connor e Dolbins, Churchill e Owens (CHAPRA, 1997; VON SPERLING, 2007), nas quais k_2 é função da velocidade média do escoamento e da profundidade líquida. As oscilações da profundidade líquida e velocidade média observadas nas Figuras 33c e 33d justificam as discrepâncias de k_2. Nas simulações em QUAL-UFMG foram obtidos valores de k_2 entre 19,5 a 27,6 dia^{-1} no rio Junco (rio principal), 119,7 a 128,7 dia^{-1} no rio Jacinto (tributário 1) e 40,0 a 48,4 dia^{-1} no rio Crino (tributário 2). Nas simulações em GESCAL foram obtidos valores de k_2 entre 7,5 a 45,3 dia^{-1} no rio Junco (rio principal), 68,6 a 175,7 dia^{-1} no rio Jacinto (tributário 1) e 20,3 a 75,2 dia^{-1} no rio Crino (tributário 2). Para nas simulações em QUALI-TOOL, k_2 manteve-se próximo a 90,7 dia^{-1} no rio Junco (rio principal), 67,4 dia^{-1} no rio Jacinto (tributário 1) e 36,1 dia^{-1} no rio Crino (tributário 2). Estes resultados demonstram que as equações empíricas da literatura superestimam k_2,

uma vez que estudos em bacias hidrográficas reais fornecem valores de k_2 entre 1,0 e 6,0 dia^{-1} (CHAPRA, 2003; VON SPERLING, 2007; PAREDES et al., 2010a; SALLA et al., 2013; SALLA et al., 2016).

Figura 34 - Perfis longitudinais dos parâmetros de qualidade da água simulados: (a) OD; (b) DBO; (c) Ptotal; (d) NO; (e) NH3+; (f) NO3-



.....QUALI-TOOL ———QUAL-UFMG .....GESCAL

As discrepâncias nos valores de profundidade líquida (ilustradas na Figura 33c) justificam as pequenas oscilações nos perfis de DBO (Figura 34b) e Ptotal (Figura 34c). Para entender esta relação, precisa-se retornar nas equações 17 e 22. Na Equação 16, a qual representa matematicamente o termo fonte da DBO na equação de advecção-difusão, apenas a profundidade líquida

não é fixa. O coeficiente k_d foi mantido fixo em 0,4 dia^{-1} para todas as simulações, valores este próximo ao encontrado em bacias hidrográficas reais (SALLA et al., 2014 e 2015). Ainda na Equação 16, a desconsideração da carga difusa Ldifuso evitou a influência da profundidade líquida h no perfil de DBO. Já na equação 22, a qual representa matematicamente o termo fonte de Ptotal na equação de advecção-difusão, apenas a profundidade líquida não é fixa. De uma forma geral, as menores profundidades obtidas na ferramenta QUALI-TOOL resultam em maiores sedimentações das parcelas adsorvidas de DBO e Ptotal, lembrando que, nas equações 17 e 22, as velocidades de sedimentação V_{SMO} e V_{SP} são divididas pela profundidade líquida h.

As simulações da série de nitrogênio na ferramenta QUALI-TOOL geraram perfis muito próximos aos gerados pelas ferramentas QUAL-UFMG e GESCAL. As discrepâncias nos valores de profundidade líquida não influenciaram nos perfis de NO, NH3+ e NO3- (ver as Figuras 34d, 34e e 34f). A metodologia adotada na ferramenta GESCAL para a evolução da vazão no trecho com contribuição difusa agrícola ocasionou uma variação em degraus nos perfis de NO, NH3+ e NO3-, entre os pontos E e F. Essa variação em degrau é mais perceptível no parâmetro NO3-, conforme ilustra a Figura 34f.

Ainda com relação às simulações da série de nitrogênio, focando-se nas equações 18 a 21, a comparação dos valores fixos adotados de k_{oa} (0,01 dia^{-1}), V_{SNO} (0,0045 dia^{-1}), k_{an} (0,001 dia^{-1}) e k_{nn} (0,50 dia^{-1}) com valores da literatura fica prejudicada, haja vista que existe enorme variação em seus valores (PAREDES-ARQUIOLA et al., 2007; SOARES et al., 2012).

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES

Os resultados fornecidos pela simulação do modelo são apresentados na forma de tabelas e gráficos. De uma forma geral, as simulações realizadas atestam a acurácia da ferramenta computacional QUALI-TOOL na avaliação de qualidade da água em ambiente lótico.

Comparado às outras ferramentas mais complexas, QUALI-TOOL possui facilidade de instalação, lançamento de dados e visualização de resultados. Comparado às ferramentas mais simples, QUALI-TOOL apresenta facilidade ao usuário por não necessitar inserir linhas e colunas, além de ser mais completa e detalhista na análise hidráulica.

A adoção da equação de Manning para a quantificação da profundidade líquida traz limitações, uma vez que considerada o escoamento permanente e uniforme para cada trecho de rio discretizado. Neste contexto, a metodologia adotada na ferramenta QUALI-TOOL para obter a declividade longitudinal de fundo minimiza a limitação da equação de Manning. Este fato é o principal diferencial da ferramenta QUALI-TOOL.

Todavia, nesta primeira versão, a quantidade máxima de 15 tributários no rio principal é a principal limitação da ferramenta, além do que o maior número de nós adotados no processo de discretização deixa o processamento matemático em Visual Basic mais lento.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Segundo Costa e Teixeira (2011), existem restrições que devem ser consideradas quando se faz o uso de modelos matemáticos. Os modelos matemáticos de qualidade da água devem ser ajustados para que os valores dos parâmetros de entrada forneçam resultados próximos aos observados no curso hídrico. Assim, há a necessidade de programar métodos, vinculados à ferramenta QUALI-TOOL, que permitam a análise de sensibilidade dos coeficientes dos processos

físicos e bioquímicos e variáveis de entrada. Necessita-se também vincular métodos de otimização na ferramenta QUALI-TOOL, os quais permitam realizar a calibração dos coeficientes dos processos físicos e bioquímicos.

Segundo Mannina e Viviani (2010), os modelos de qualidade de água requerem calibração exata, a fim de especificar os parâmetros do modelo. A calibração confiável do modelo exige uma ampla variedade de dados monitorados de qualidade de água, que geralmente demandam muitos recursos técnicos e humanos para sua coleta e análise. Em pequenos cursos hídricos, a disponibilidade desses dados é ainda mais escassa, devido ao fato de serem considerados insignificantes a partir de um ponto de vista prático e econômico.

No processo de construção de modelos matemáticos é necessário que ocorra também a análise de sensibilidade, onde é possível avaliar a influência dos dados de entrada e dos coeficientes dos processos físicos e bioquímicos no comportamento dos parâmetros de qualidade da água (SAUZEN; SAUZEN, 2010).

REFERÊNCIAS

ANDRADE, L. N. *Autodepuração dos corpos d'água.* Revista da Biologia. São Paulo, v. 5. p 16-19, 2010. Disponível em: <http://www.ib.usp.br/revista/node/45>. Acesso em: 05 de agosto de 2015.

ANDREU, J.; CAPILLA. J.; SANCHÍS, E. *AQUATOOL: a generalized decision supportsystem for water-resources planning and operational management.* Journal of Hydrology, v. 177, n. 3-4, p. 269–291, 1996.

ARAÚJO, S.C.S. *Modelos de simulação baseados em raciocínio qualitativo para avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas.* 218 f. Tese (Doutorado em Ecologia). Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

ARGENT R.M.; PERRAUD J.M.; RAHMAN J.M.; GRAYSON R.B.; PODGER G.M. *A new approach to water quality modeling and environmental decision support systems.* Environmental Modelling Software, v. 24, p. 809-818, 2009

BOCKELMANN, B. N.; FENRICH, E. K.; LIN, B.; FALCONER, R. A. *Development of an ecohydraulics model for stream and river restoration.* Ecological Engineering 22, p. 227-235, 2004.

CHAPRA, S. C. *Surface water-quality modeling.* WCB – McGraw-Hill. Boston, 844p. 1997.

COSTA, J. R. *Distribuição de metais em peixes marinhos ao longo do litoral sudeste do Brasil.* 2007. 43 f. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) – Centro de Biociências e Biotecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2007.

COSTA, D. J. L.; TEIXEIRA, D. *Análise de incerteza em um modelo matemático de qualidade da água aplicado ao Ribeirão do Ouro, Araraquara, SP, Brasil.* Revista Ambiente e Água, Taubaté, v.6, n.2, p.232-245, 2011.

DANISH HYDRAULIC INSTITUTE (DHI). *MIKE11, Dynamic modeling of river, channel and reservoir hydraulics. Disponível em: <http://goo.gl/VqpfCi> Acesso em 08 de janeiro de 2016.*

DI TORO, D. M.; FITZPATRICK, J. J.; THOMANN, R.V. *Water quality analysis simulation program (WASP) and model verification program (MVP) documention.* National environmental research center. 396f. 1970.

FERREIRA, A. M. *Capacidade de autodepuração nos cursos médio e baixo do rio Uberaba, UPGRH-GD8*. 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

FRAGOSO JR, C. R.; FERREIRA, T. F.; MARQUES, D. M. *Modelagem ecológica em ecossistemas aquáticos*. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 304p.

GARRIDO, R. *Água, uma preocupação mundial.* CEJ, v. 4 n. 12 set./dez. 2000. Disponível em: <http://www.jf.jus.br/ojs2/index.php/revcej/article/viewArticle/351> Acesso em 12 de junho de 2015.

GREENWALD, I. D.; MAUREEN K., *The Share 709 System: Programming and Modification* Journal of the ACM, New York, NY, USA: ACM, p.128–133, 1959.

HYNES, H. B. N. 1960. *The Biology of Polluted Waters*. Liverpool University Press. 202p.

IUCN/UNEP/WWF, *Caring for the Earth: A Strategy for Sustainable Living*. Gland, Switzerland, 1991, p10.

KAY, K. *Toxicology of Pesticides: Recent Advances*. Environmental Research, v. 6, p. 202-243, 1973.

LEE, Y. H.; HULTBERG, H.; ANDERSSON, I. *Catalytic effect of various metal ions on the methylation of mercury in the presence of humic substances.* Water, Air, and Soil Pollution, v. 25, p. 391-400, 1985.

MALAVOLTA, E. *Fertilizantes e seu impacto ambiental*. São Paulo: Prodquímica, 1994. 95p.

MANINNA, G.; VIVIANI, G. *Water quality modelling for ephemeral rivers: Model development and parameter assessment*. Journal of Hydrology, v.393, n.3-4, p. 186-196, 2010

MARTIN, C.; AYESA, E. An *Integrated Monte Carlo Methodology for the calibration of water quality models*. Ecological Modelling, v.221, n.22, p.2656-2667, 2010.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. *Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana*. Revista Saúde Pública, v. 36, n. 3, p. 370-374, 2002.

OFFICE. *Visual Basic for Applications v. 2015*. Disponível em: <https://goo.gl/GIyLu2> Acesso em 02 de fevereiro de 2016.

OPPA, L. F. *Utilização de modelo matemático de qualidade da água para análise de alternativas de enquadramento do rio vacacaí mirim.* 130p. Dissertação (Mestrado em Emgenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PAREDES-ARQUIOLA, J. Integración de la modelación de la calidad del agua en un sistema de ayuda a la decision para la gestión de recursos hídricos. Dissertação de doutorado. Universidad Politécnica de Valencia, 2004.

PAREDES-ARQUIOLA, J.; ÁLVAREZ, J.A.; SOLERA, A. *A decision support system for water quality issues in the Manzanares River (Madrid, Spain).* Science of the Total Environment, v. 408, n. 12, p. 2576–2589, 2010a.

PAREDES-ARQUIOLA, J.; ANDREU-ÁLVAREZ, J.; MARTÍN-MONERRIS, M.; SOLERA, A. *Water quantity and quality models applied to the Jucar river basin, Spain.* Journal of water resources planning and management, v.24, n.11, p. 2759-2779, 2010b.

PAULA, M. *Inimigo invisível: metais pesados e a saúde humana*. Tchê-Química, v. 3, n. 6, p. 37-44, 2006.

PETRELLA, R. *O manifesto da água; argumentos para um contrato mundial.* Trad. Vera Lúcia Mello Joscelyne. Petrópolis (RJ): Vozes, 2002. 159 p.

PORTO, R. M. *Hidráulica Básica*. 1.ed. São Carlos: EESC/USP, 1998. 540 p.

RAUCH, M. H.; KONCSONS, L.; REICHERT, P.; SHANAHAN, P.; SOMLYÓDY, L.; VANROLLEGHEM, P. *River water quality modeling: I state of the art*. In: IAWQ Biennial International Conference, Vancouver, British Columbia, Canada. 1998.

REBOUÇAS, A. C. *Água doce no mundo e no Brasil*. In: REBOUÇAS, A. C. et al. (orgs.) Águas Doces no Brasil – Capital Ecológico, Uso e Conservação. São Paulo: Escrituras, 2002. 2ª Ed. Revisada e ampliada.

REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B. & TUNDISI, J.G. *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.* São Paulo, Acad. Bras. Cien./IEA-USP, 1999. 717 p.

RICKLEFS, R. E. *Economia da Natureza.* W.H Freeman and Company. New York, New York and Basingstoke Copyright, 2001.

SALLA, M. R.; MAGALHÃES, A.A.B.; ALVES, L. A.; SCHMIDT, M.A.R; LIMA, G. *Sensibilidade de características morfológicas no comportamento de parâmetros de qualidade da água em rio de porte médio.* Science & Engineering Journal vol. 24 (2) p. 29 – 37. Jul. – dez. 2015.

SALLA, M. R.; FERNANDES, L.E.; PEREIRA, C.E.; JHUNIOR, H.C.S.; LIMA, G. *Importance of calibration for mathematical modeling of self-purification of lotic environments.* Acta Limnologica Brasiliensia. vol. 28(27) p. 01 – 18 – dez. 2016.

SANTOS, A.; ALONSO, E.; CALLEJÓN, M.; JIMÉNEZ, J. C. *Distribution of Zn, Cd, Pb and Cu metals in groundwater of the guadiamar river basin.* Water, Air, and Soil Pollution, v. 134, p. 275-286, 2002.

SAUZEN, A.; SAUZEN, P. S. *Aplicação de uma metodologia para análise da sensibilidade do modelo dinâmico para uma tubulação-separador sob golfadas*. Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional, v.11, n.3, p. 245-256, 2010.

SEYLER, P. T.; BOAVENTURA, G. R. *Distribution and partition of trace metals in the Amazon basin*. Hydrological Processes, v. 17, p. 1345–1361, 2003.

SILVA, A. L. *Utilização do modelo WinHSPF no estudo das cargas difusas de poluição da bacia do Ribeirão da Estiva/SP.* 158f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVINO, A. N. O. *Avaliação e modelagem da qualidade da água da bacia do rio Coxipó, no município de Cuiabá - MT.* 173f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

SOARES, E. M. F. *Proposta de um modelo de sistema de gestão das águas para bacias hidrográficas* – SGABH: Microbacia hidrográfica do Rio Vacacaí Mirim, a montante da RS

287/Santa Maria/RS. 220f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

STREETER, H. W.; PHELPS, E. B. *A study of the pollution and natural purification of the Ohio river*. Vol III, Public Health Bulletin, Nº 146, U.S. Public Health Service. 1925..

SULIS, A.; SECHI, G. M. Comparison of generic simulation models for water resource systems. *Environmental Modelling & Software*, v. 40, p. 214-225, 2013.

TUCCI, C. E. M. *Modelos hidrológicos*. Porto Alegre: Editora da Universidade. UFRGS, 1998, 669p.

USEPA (US Environmental Protection Agency). *WASP: Water Quality Analysis Simulation Program*. Disponível em: <http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/wasp.html>. Acesso em 08 de janeiro de 2016.

VON SPERLING, M. *Estudos e modelagem da qualidade da água de rios*. 588p. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, *B*elo Horizonte, 2007. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 7)

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 452p. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2005. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1)

VON SPERLING, M. *Princípios básicos do tratamento de esgotos. 211p.* Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1996. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 2)

WELSH, W.; VAZE, J.; DUTTA, D.; RASSAM, D.; RAHMAN, J.M.; JOLLY, I.D.; WALLBRINK, P.; PODGER, G.M.; BETHUNE, M.; HARDY, M.J.; TENG, J.; LERAT, J. *An integrated modelling framework for regulated river systems.* Environ Modell Soft, v.39, p. 81-102, 2013.

ZHANG, X.; HUANG, G. H.; NIE, X.; LI. Q. *Model-based decision support system for water quality management under hybrid uncertainty.* Expert Systems with Applications, v. 38, n. 3, p. 2809-2816, 2011.

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2016. The United Nations World Water Development Report 2016: Water and Jobs. Paris, UNESCO. Disponível em: < http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002439/243938e.pdf>

APÊNDICE A

MÓDULOS (MACROS) VBA

Sumário

1 TOPOLOGIA 101

2 DISCRETIZAÇÃO 102

3 HIDRÁULICA 106

3.1 VAZÕES 106

3.2 SOLVER 112

3.3 DINÂMINCA 115

4 COEFICIENTES 117

5 CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DE DBO 121

6 CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO E NITROGÊNIO 130

7 CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DOS CONTAMINANTES ARBITRÁTIOS 143

8 CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DO FÓSFORO 152

9 CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DE E-COLI 161

10 CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DOS METAIS 170

1 TOPOLOGIA

```
Sub COMPRIMENTO()
'==========================================================================
' CÁLCULO DO COMPRIMENTO TOTAL DO CANAL A PARTIR DE DADOS AMOSTRAIS
'==========================================================================
Dim xa(100, 500), ya(100, 500), za(100, 500), La(100, 500), Sa(100, 500) As Double
Dim NA(100) As Integer

Sheets("TOPOLOGIA").Activate
coluna = 6

'IDENTIFICAÇÃO DA QUANTIDADE DE CANAIS:
ind = 1
Ncanais = 0
While Cells(6, ind + 2) <> ""
    Ncanais = Ncanais + 1
    ind = ind + coluna
Wend

'LEITURA DOS DADOS AMOSTRAIS:
cont = 0
For k = 1 To Ncanais
    ind = 1
    While (Cells(5 + ind, 3 + cont) <> "")
        xa(k, ind) = Cells(5 + ind, 3 + cont)
        ya(k, ind) = Cells(5 + ind, 4 + cont)
        za(k, ind) = Cells(5 + ind, 5 + cont)
        ind = ind + 1
    Wend
    cont = cont + 6
    NA(k) = ind - 1
Next

'COMPRIMENTOS E DECLIVIDADES ENTRE AMOSTRAS:
cont = 0
For k = 1 To Ncanais
    soma = 0
    For i = 1 To NA(k)
        If (i > 1) Then
            La(k, i) = Sqr((xa(k, i) - xa(k, i - 1)) ^ 2 + (ya(k, i) - ya(k, i -
1)) ^ 2)
            dist = Sqr((xa(k, i) - xa(k, i - 1)) ^ 2 + (ya(k, i) - ya(k, i - 1)) ^
2)
            Sa(k, i) = (za(k, i) - za(k, i - 1)) / dist
            Else
```

```
            La(k, i) = 0
            dist = Sqr((xa(k, i + 1) - xa(k, i)) ^ 2 + (ya(k, i + 1) - ya(k, i)) ^
2)
            Sa(k, i) = (za(k, i + 1) - za(k, i)) / dist
        End If
        soma = La(k, i) + soma
        'SAÍDA:
        Sheets("TOPOLOGIA").Cells(5 + i, 6 + cont) = soma
        Sheets("TOPOLOGIA").Cells(5 + i, 7 + cont) = Sa(k, i)
        Cells(4, 7 + cont) = soma
    Next i
    cont = cont + coluna
Next k

End Sub
```

2 DISCRETIZAÇÃO

```
Sub DISCRETIZAÇÃO_()
'==========================================================================
' DISCRETIZAÇÃO DO CANAL: cálculos para canal de seção TRAPEZOIDAL
'==========================================================================

Dim xa(20, 500), ya(20, 500), za(20, 500), La(20, 500), Sa(20, 500) As Double
Dim La_(20, 500), ba(20, 500), alfae(20, 10000), n(20, 500), alfad(20, 10000) As
Double
Dim alfae_(20, 10000), alfad_(20, 10000) As Double
Dim L(20, 10000), s(20, 10000), b(20, 10000), Hc(20, 10000), nd(20, 10000), Bs(20,
10000) As Double
Dim x(20, 10000), y(20, 10000), z(20, 10000) As Double
Dim Lfinal(20), espaç(20), dL(20) As Double
Dim NA(20), NA_(20), nc(20) As Integer

Pi = 3.141593

coluna = 6
'IDENTIFICAÇÃO DA QUANTIDADE DE CANAIS:
ind = 1
Ncanais = 0
While Sheets("TOPOLOGIA").Cells(6, ind + 2) <> ""
    Ncanais = Ncanais + 1
    ind = ind + coluna
Wend

'LEITURA DO NÚMERO DE CÉLULAS
coluna2 = 11
```

```
cont = 0
For k = 1 To Ncanais
    nc(k) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(5, 3 + cont)
    cont = cont + coluna2
Next

'LEITURAS DE COORDENADAS E DECLIVIDADES:
cont = 0
For k = 1 To Ncanais
    ind = 1
xamin = 10000000000#
yamin = 10000000000#
yamax = -10000000000#
xamax = -10000000000#
    While (Sheets("TOPOLOGIA").Cells(5 + ind, 3 + cont) <> "")
        xa(k, ind) = Sheets("TOPOLOGIA").Cells(5 + ind, 3 + cont)
        ya(k, ind) = Sheets("TOPOLOGIA").Cells(5 + ind, 4 + cont)
        za(k, ind) = Sheets("TOPOLOGIA").Cells(5 + ind, 5 + cont)
        La(k, ind) = Sheets("TOPOLOGIA").Cells(5 + ind, 6 + cont)
        Sa(k, ind) = Sheets("TOPOLOGIA").Cells(5 + ind, 7 + cont)
        If (xa(k, ind) < xamin) Then
            xamin = xa(k, ind)
        End If
        If (ya(k, ind) < yamin) Then
            yamin = ya(k, ind)
        End If
        If (xa(k, ind) > xamax) Then
            xamax = xa(k, ind)
        End If
        If (ya(k, ind) > yamax) Then
            yamax = ya(k, ind)
        End If
    ind = ind + 1
    Wend
    NA(k) = ind - 1
    cont = cont + 6
Next

'LEITURAS DE DADOS GEOMÉTRICOS DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS:
cont = 0
For k = 1 To Ncanais
    ind = 1
    While (Sheets("SEÇÕES TRANSVERSAIS").Cells(ind + 4, 3 + cont) <> "")
        La_(k, ind) = Sheets("SEÇÕES TRANSVERSAIS").Cells(4 + ind, 3 + cont)
        ba(k, ind) = Sheets("SEÇÕES TRANSVERSAIS").Cells(4 + ind, 4 + cont)
        alfae_(k, ind) = Sheets("SEÇÕES TRANSVERSAIS").Cells(4 + ind, 5 + cont)
```

```
        n(k, ind) = Sheets("SEÇÕES TRANSVERSAIS").Cells(4 + ind, 6 + cont)
        alfad_(k, ind) = Sheets("SEÇÕES TRANSVERSAIS").Cells(4 + ind, 7 + cont)
        ind = ind + 1
    Wend
    NA_(k) = ind - 1
    Lfinal(k) = Sheets("TOPOLOGIA").Cells(4, 7 + cont)
    cont = cont + 6
Next

'DETERMINANDO O MENOR ESPAÇAMENTO ENTRE PONTOS AMOSTRAIS:
dLamin = 1000
For k = 1 To Ncanais
    j = j + 1
    espaç(k) = La(k, j + 1) - La(k, j)
    If (espaç(k) < dLamin) Then
        dLamin = espaç(k)
    End If
Next

'DISCRETIZAÇÃO DE COORDENADAS E COMPRIMENTOS:

cont = 0
For k = 1 To Ncanais
    dL(k) = Lfinal(k) / (nc(k) - 1)
    Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(7, 3 + cont) = dL(k)
    'i = 1    'seção discreta
    j = 1    'seção de leitura
    For i = 1 To nc(k)
        L(k, i) = dL(k) * (i - 1)
        mr = (ya(k, j + 1) - ya(k, j)) / (xa(k, j + 1) - xa(k, j))
        numerador = (ya(k, j + 1) - ya(k, j))
        denominador = (xa(k, j + 1) - xa(k, j))
        If (numerador > 0 And denominador > 0) Then 'primeiro quadrante
            ang = Atn(mr)
            ElseIf (numerador > 0 And denominador < 0) Then 'segundo quadrante
            ang = Pi - Abs(Atn(mr))
            ElseIf (numerador < 0 And denominador < 0) Then 'terceiro quadrante
            ang = Pi + Abs(Atn(mr))
            ElseIf (numerador < 0 And denominador > 0) Then 'quarto quadrante
            ang = 2 * Pi - Abs(Atn(mr))
        End If
        x(k, i) = xa(k, j) + (L(k, i) - La(k, j)) * Cos(ang)
        y(k, i) = ya(k, j) + (L(k, i) - La(k, j)) * Sin(ang)
        s(k, i) = Sa(k, j)
        z(k, i) = za(k, j) + s(k, i) * (L(k, i) - La(k, j))
        If (i > 1) Then
```

```
            z(k, i) = z(k, i - 1) + Sa(k, j) * dL(k)
            Else
            z(k, i) = za(k, 1)
        End If
        Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, 4 + cont) = x(k, i)
        Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, 5 + cont) = y(k, i)
        Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, 7 + cont) = L(k, i)
        Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, 8 + cont) = s(k, i)
        Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, 6 + cont) = z(k, i)
        If (L(k, i) >= La(k, j + 1)) Then
            j = j + 1
        End If
    Next i
cont = cont + coluna2
Next k

'DISCRETIZAÇÃO DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS:

cont = 0
For k = 1 To Ncanais
    dL(k) = Lfinal(k) / (nc(k) - 1)
    Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(7, 3 + cont) = dL(k)
    'i = 1    'seção discreta
    j = 1    'seção de leitura
    For i = 1 To nc(k)
        L(k, i) = dL(k) * (i - 1)
        b(k, i) = (L(k, i) - La_(k, j)) / (La_(k, j + 1) - La_(k, j)) * (ba(k, j +
1) - ba(k, j)) + ba(k, j)
        nd(k, i) = n(k, j)
        alfae(k, i) = (L(k, i) - La_(k, j)) / (La_(k, j + 1) - La_(k, j)) *
(alfae_(k, j + 1) - alfae_(k, j)) + alfae_(k, j)
        alfad(k, i) = (L(k, i) - La_(k, j)) / (La_(k, j + 1) - La_(k, j)) *
(alfad_(k, j + 1) - alfad_(k, j)) + alfad_(k, j)
        Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, 9 + cont) = b(k, i)
        Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, 10 + cont) = alfae(k, i)
        Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, 11 + cont) = nd(k, i)
        Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, 12 + cont) = alfad(k, i)
        If (L(k, i) >= La_(k, j + 1)) Then
            j = j + 1
        End If
    Next i
cont = cont + coluna2
Next k

End Sub
```

3 HIDRÁULICA

3.1 VAZÕES

```
Sub HIDRÁULICA()
'==========================================================================
' CÁLCULO DE CAMPOS HIDRODINÂMICOS NO CANAL PRINCIPAL
' CONDIÇÃO DE REGIME PERMANENTE E VARIADO
'==========================================================================

Sheets("HIDRÁULICA").Activate
Range(Cells(5, 3), Cells(600000, 250)).ClearContents

'MATRIZES E VETORES:
'===================
'Curso de água:
Dim A(15, 10000) As Double
Dim P(15, 10000) As Double
Dim Q(15, 10000) As Double
Dim V(15, 10000) As Double
Dim ql(15, 10000) As Double
Dim So(15, 10000) As Double
Dim h(15, 10000) As Double
Dim x(15, 10000), y(15, 10000), z(15, 10000), zo(15, 10000) As Double
Dim Bo(15, 10000), Hc(15, 10000), b(15, 10000), Bos(15, 10000) As Double
Dim L(15, 10000) As Double
Dim tau(15, 10000) As Double
Dim Bs(15, 10000) As Double
Dim tensão(15, 10000) As Double
Dim nMann(15, 10000) As Double
Dim teta(15, 10000) As Double
Dim hcr(15, 10000), hnormal(15, 10000) As Double
Dim alfae(15, 10000), alfad(15, 10000) As Double
Dim alfae_rad(15, 10000), alfad_rad(15, 10000) As Double

'Contribuições pontuais:
Dim Linj(15, 100) As Double
Dim Qinj(15, 100) As Double
Dim Qpont(15, 10000) As Double

'Contribuições difusas:
Dim Ldo(15, 1000), Ldf(15, 1000) As Double
Dim qlinj(15, 100) As Double
Dim Qdif(15, 10000) As Double
```

```
'Afluentes:
Dim xafl(50, 100), yafl(50, 100) As Double '(canal,seção do canal)
Dim jpivô(50) As Integer
Dim hjusante(50) As Double
Dim Qaflu(50), Laflu(50) As Double


'Outras variáveis e parâmetros:
Pi = 3.141593
Dim Npontuais(15), Ndifusas(15) As Integer
Dim Ncélulas(15) As Integer
Dim Lf(15), dL(15) As Double
Dim Qini(15) As Double


'dlat = 1#                              'incremento lateral para cálculo de áreas
inundadas
'fator_hidr = 0       'intervalo para anexação de resultados hidrodinâmicos
'fator_alag = 0       'intervalo para anexação de resultados de alagamentos
'hjus = 2             'profundidade de jusante (m) do canal principal
'inu = 1
roo = 1000            'massa específica da água kg/m3
g = 9.81

'IDENTIFICAÇÃO DA QUANTIDADE DE CANAIS E DO COMPRIMENTO DOS CANAIS:
'=====================================================================
coluna = 6
ind = 1
Ncanais = 0
While Sheets("TOPOLOGIA").Cells(6, ind + 2) <> ""
    Ncanais = Ncanais + 1
    ind = ind + coluna
Wend
coluna1 = 0
For k = 1 To Ncanais
    Lf(k) = Sheets("TOPOLOGIA").Cells(4, 7 + coluna1)
    dL(k) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(7, 3 + coluna2)
    Ncélulas(k) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(5, 3 + coluna2)
    Qini(k) = Sheets("Q PONTUAIS").Cells(5, coluna - 3)
    coluna1 = coluna1 + 5
    coluna2 = coluna2 + 11
    coluna = coluna + 5
Next

'LEITURA DOS DADOS DA DISCRETIZAÇÃO e HIDRODINÂMICOS INICIAIS:
'==================================================================
```

```
coluna = 4
For k = 1 To Ncanais
For i = 1 To Ncélulas(k)
    x(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, coluna)       'coordenada X do
canal
    y(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, coluna + 1) 'coordenada Y do
canal
    zo(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, coluna + 2) 'cota do fundo do
canal
    L(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, coluna + 3) 'distância
longitudinal
    So(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, coluna + 4) 'declividade do
canal
    Bo(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, coluna + 5) 'largura de fundo
do canal
    alfae(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, coluna + 6) * Pi / 180
'inclinação da margem esquerda (radianos)
    nMann(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, coluna + 7)   'coef. de
Manning da seção
    alfad(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, coluna + 8) * Pi / 180
'inclinação da margem direita (radianos)
    Q(k, i) = Qini(k) 'inicializando as vazões do canal
Next i
coluna = coluna + 11
Next k

'LEITURA DAS CONTRIBUIÇÕES PONTUAIS:
'================================================================
'Identificando a quantidade de injeções pontuais cadastradas:
coluna = 5
For k = 1 To Ncanais
    i = 1
    While (Sheets("Q PONTUAIS").Cells(i + 4, coluna + 1) <> "")
        i = i + 1
    Wend
    Npontuais(k) = i - 1
    'Leitura das vazões pontuais:
    For j = 1 To Npontuais(k)
        Linj(k, j) = Sheets("Q PONTUAIS").Cells(j + 4, coluna)
        Qinj(k, j) = Sheets("Q PONTUAIS").Cells(j + 4, coluna + 1)
    Next j
    coluna = coluna + 5
Next k

'LEITURA DAS CONTRIBUIÇÕES DIFUSAS:
'================================================================
```

```
'Identificando a quantidade de injeções difusas cadastradas:
coluna3 = 5
For k = 1 To Ncanais
    i = 1
    While (Sheets("Q DIFUSAS").Cells(4 + i, 1 + coluna3) <> "")
        i = i + 1
    Wend
    Ndifusas(k) = i - 1
    'Leitura das contribuições difusas:
    For j = 1 To Ndifusas(k)
        Ldo(k, j) = Sheets("Q DIFUSAS").Cells(j + 4, coluna3 - 1)
        Ldf(k, j) = Sheets("Q DIFUSAS").Cells(j + 4, coluna3)
        qlinj(k, j) = Sheets("Q DIFUSAS").Cells(j + 4, coluna3 + 1)
    Next j
    coluna3 = coluna3 + 5
Next k

'IDENTIFICAÇÃO DAS VAZÕES NOS DIFERENTES TRECHOS DOS CANAIS:
'=====================================================================

'PARA OS AFLUENTES:
'===================
'Acumulando as contribuições pontuais nos afluentes:
For k = 2 To Ncanais
    Ip = 1
    Qac = Qini(k)
    For i = 1 To Ncélulas(k)
        If (L(k, i) >= Linj(k, Ip) And Ip <= Npontuais(k)) Then
            Qac = Qac + Qinj(k, Ip)
            Ip = Ip + 1
            If (Ip > Npontuais(k)) Then
                Qac = Qac
            End If
        End If
        Q(k, i) = Qac
        Qpont(k, i) = Q(k, i)
        Qdif(k, i) = 0
    Next i
Next k

'Acrescentando as contribuições difusas e acumulando as vazões de trechos
sucessivos dos afluentes:
For k = 2 To Ncanais
    idif = 1
    For i = 2 To Ncélulas(k)
        'Qdif(k, i) = 0
```

```
        If (L(k, i) >= Ldo(k, idif) And L(k, i) <= Ldf(k, idif)) Then
            Qdif(k, i) = dL(k) * qlinj(k, idif) + Qdif(k, i - 1)
            Else
            Qdif(k, i) = Qdif(k, i) + Qdif(k, i - 1)
        End If
        If (L(k, i) > Ldf(k, idif)) Then
            idif = idif + 1
        End If
    Next
Next

'PARA O CANAL PRINCIPAL:
'=========================
'Acumulando as contribuições pontuais no canal principal:
'Identificação das entradas dos afluentes
For k = 2 To Ncanais
    distmin = 1000000#
    For j = 1 To Ncélulas(1)  'varrendo o canal principal
        dist = Sqr((x(k, Ncélulas(k)) - x(1, j)) ^ 2 + (y(k, Ncélulas(k)) - y(1,
j)) ^ 2)
        If (dist < distmin) Then
            jpivô(k) = j
            distmin = dist
        End If
    Next j
    'interpolação pelo vizinho mais próximo:
    Laflu(k) = L(1, jpivô(k))
    Qaflu(k) = Q(k, Ncélulas(k))
Next k

k = 1
    Ip = 1
    iaflu = 2
    Qac = Qini(k)
    For i = 1 To Ncélulas(k)
        If (L(k, i) >= Linj(k, Ip) And Ip <= Npontuais(k)) Then
            Qac = Qac + Qinj(k, Ip)
            Ip = Ip + 1
            If (Ip > Npontuais(k)) Then
                Qac = Qac
            End If
        End If
        If (i = jpivô(iaflu)) Then
            Qac = Qac + Qaflu(iaflu)
            iaflu = iaflu + 1
        End If
```

```
        Q(k, i) = Qac
        Qpont(k, i) = Q(k, i)
        Qdif(k, i) = 0
    Next i

'Acrescentando as contribuições difusas e acumulando as vazões de trechos
sucessivos do canal principal:
k = 1
    idif = 1
    For i = 2 To Ncélulas(k)
        'Qdif(k, i) = 0
        If (L(k, i) >= Ldo(k, idif) And L(k, i) <= Ldf(k, idif)) Then
            Qdif(k, i) = dL(k) * qlinj(k, idif) + Qdif(k, i - 1)
            Else
            Qdif(k, i) = Qdif(k, i) + Qdif(k, i - 1)
        End If
        If (L(k, i) > Ldf(k, idif)) Then
            idif = idif + 1
        End If
    Next

'Superposição das vazões:
For k = 1 To Ncanais
For i = 2 To Ncélulas(k)
    Q(k, i) = Qpont(k, i) + Qdif(k, i)
Next
Next

coluna = 0
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To Ncélulas(k)
    Sheets("HIDRÁULICA").Cells(i + 4, 3 + coluna) = L(k, i)
    Sheets("HIDRÁULICA").Cells(i + 4, 4 + coluna) = Q(k, i)
    Sheets("HIDRÁULICA").Cells(i + 4, 5 + coluna) = alfae(k, i)
    Sheets("HIDRÁULICA").Cells(i + 4, 6 + coluna) = alfad(k, i)
    Next i
    coluna = coluna + 11
Next k

DoEvents

End Sub
```

3.2 SOLVER

```
Sub SOLVER()

count = 5 'rio principal
    Do While (Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 3) <> "")
        SolverOk   SetCell:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count,   7),   MaxMinVal:=3,
ValueOf:=0, ByChange:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 8)
        SolverSolve userfinish:=True
        count = count + 1
    Loop

count = 5 'af 01
    Do While (Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 14) <> "")
        SolverOk   SetCell:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count,   18),   MaxMinVal:=3,
ValueOf:=0, ByChange:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 19)
        SolverSolve userfinish:=True
        count = count + 1
    Loop

count = 5 'af 02
    Do While (Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 25) <> "")
        SolverOk   SetCell:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count,   29),   MaxMinVal:=3,
ValueOf:=0, ByChange:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 30)
        SolverSolve userfinish:=True
        count = count + 1
    Loop

count = 5 'af 03
    Do While (Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 36) <> "")
        SolverOk   SetCell:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count,   40),   MaxMinVal:=3,
ValueOf:=0, ByChange:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 41)
        SolverSolve userfinish:=True
        count = count + 1
    Loop

count = 5 'af 04
    Do While (Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 47) <> "")
        SolverOk   SetCell:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count,   51),   MaxMinVal:=3,
ValueOf:=0, ByChange:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 52)
        SolverSolve userfinish:=True
        count = count + 1
    Loop

count = 5 'af 05
    Do While (Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 58) <> "")
```

```
        SolverOk   SetCell:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count,   62),   MaxMinVal:=3,
ValueOf:=0, ByChange:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 63)
        SolverSolve userfinish:=True
        count = count + 1
    Loop

count = 5 'af 06
    Do While (Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 69) <> "")
        SolverOk   SetCell:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count,   73),   MaxMinVal:=3,
ValueOf:=0, ByChange:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 74)
        SolverSolve userfinish:=True
        count = count + 1
    Loop

count = 5 'af 07
    Do While (Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 80) <> "")
        SolverOk   SetCell:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count,   84),   MaxMinVal:=3,
ValueOf:=0, ByChange:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 85)
        SolverSolve userfinish:=True
        count = count + 1
    Loop

count = 5 'af 08
    Do While (Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 91) <> "")
        SolverOk   SetCell:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count,   95),   MaxMinVal:=3,
ValueOf:=0, ByChange:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 96)
        SolverSolve userfinish:=True
        count = count + 1
    Loop

count = 5 'af 09
    Do While (Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 102) <> "")
        SolverOk   SetCell:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count,   106),   MaxMinVal:=3,
ValueOf:=0, ByChange:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 107)
        SolverSolve userfinish:=True
        count = count + 1
    Loop

count = 5 'af 10
    Do While (Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 113) <> "")
        SolverOk   SetCell:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count,   117),   MaxMinVal:=3,
ValueOf:=0, ByChange:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 118)
        SolverSolve userfinish:=True
        count = count + 1
    Loop
```

```
count = 5 'af 11
    Do While (Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 124) <> "")
        SolverOk   SetCell:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count,   128),   MaxMinVal:=3,
ValueOf:=0, ByChange:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 129)
        SolverSolve userfinish:=True
        count = count + 1
    Loop

count = 5 'af 12
    Do While (Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 135) <> "")
        SolverOk   SetCell:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count,   139),   MaxMinVal:=3,
ValueOf:=0, ByChange:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 140)
        SolverSolve userfinish:=True
        count = count + 1
    Loop

count = 5 'af 13
    Do While (Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 146) <> "")
        SolverOk   SetCell:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count,   150),   MaxMinVal:=3,
ValueOf:=0, ByChange:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 151)
        SolverSolve userfinish:=True
        count = count + 1
    Loop

count = 5 'af 14
    Do While (Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 157) <> "")
        SolverOk   SetCell:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count,   161),   MaxMinVal:=3,
ValueOf:=0, ByChange:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 162)
        SolverSolve userfinish:=True
        count = count + 1
    Loop

count = 5 'af 15
    Do While (Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 168) <> "")
        SolverOk   SetCell:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count,   172),   MaxMinVal:=3,
ValueOf:=0, ByChange:=Sheets("HIDRÁULICA").Cells(count, 173)
        SolverSolve userfinish:=True
        count = count + 1
    Loop


MsgBox ("CÁLCULO FINALIZADO!")
End Sub
```

3.3 DINÂMINCA

```
Sub VELOCIDADES()

'Curso de água:
Dim Lf(20), dL(20), Ncélulas(20) As Double
Dim Q(20, 10000), h(20, 10000) As Double
Dim A(20, 10000) As Double
Dim P(20, 10000) As Double
Dim V(20, 10000) As Double
Dim So(20, 10000) As Double
Dim x(15, 10000), y(15, 10000), z(15, 10000), zo(15, 10000) As Double
Dim Bo(15, 10000), Hc(15, 10000), b(15, 10000), Bos(15, 10000) As Double
Dim L(15, 10000) As Double
Dim tau(15, 10000), Froude(20, 10000), NA(20, 10000) As Double
Dim Bs(15, 10000) As Double
Dim nMann(15, 10000) As Double
Dim teta(15, 10000) As Double
Dim alfae(15, 10000), alfad(15, 10000) As Double

Pi = 3.14159265358979

'IDENTIFICAÇÃO DA QUANTIDADE DE CANAIS E DO COMPRIMENTO DOS CANAIS:
'=====================================================================
coluna = 6
ind = 1
Ncanais = 0
While Sheets("TOPOLOGIA").Cells(6, ind + 2) <> ""
    Ncanais = Ncanais + 1
    ind = ind + coluna
Wend

col = 0
For k = 1 To Ncanais
    dL(k) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(7, 3 + col)
    Ncélulas(k) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(5, 3 + col)
    col = col + 11
Next

coluna2 = 0
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To Ncélulas(k)
    Q(k, i) = Sheets("HIDRÁULICA").Cells(4 + i, 4 + coluna2)
    h(k, i) = Sheets("HIDRÁULICA").Cells(4 + i, 8 + coluna2)
    Next
    coluna2 = coluna2 + 11
```

```
Next

'LEITURA DOS DADOS DA DISCRETIZAÇÃO e HIDRODINÂMICOS INICIAIS:
'==================================================================
coluna = 4
For k = 1 To Ncanais
For i = 1 To Ncélulas(k)
    x(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, coluna)       'coordenada X do
canal
    y(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, coluna + 1) 'coordenada Y do
canal
    zo(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, coluna + 2) 'cota do fundo do
canal
    L(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, coluna + 3) 'distância
longitudinal
    So(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, coluna + 4) 'declividade do
canal
    Bo(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, coluna + 5) 'largura de fundo
do canal
    alfae(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, coluna + 6) * Pi / 180
'inclinação da margem esquerda (radianos)
    nMann(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, coluna + 7)   'coef. de
Manning da seção
    alfad(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(i + 4, coluna + 8) * Pi / 180
'inclinação da margem direita (radianos)
Next i
coluna = coluna + 11
Next k

'Cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To Ncélulas(k)
    A(k, i) = (2 * Bo(k, i) + h(k, i) / Tan(alfae(k, i)) + h(k, i) / Tan(alfad(k,
i))) * h(k, i) / 2
    P(k, i) = (Bo(k, i) + h(k, i) / Sin(alfae(k, i)) + h(k, i) / Sin(alfad(k, i)))
    V(k, i) = Q(k, i) / A(k, i)
    NA(k, i) = zo(k, i) + h(k, i)
    Froude(k, i) = V(k, i) / Sqr(9.81 * h(k, i))
    tau(k, i) = 9810 * A(k, i) / P(k, i) * Abs(So(k, i))
    'ucis = Sqr(tau(k, i) / roo)
    Next
Next

'ANEXAÇÃO DOS RESULTADOS

coluna = 0
```

```
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To Ncélulas(k)
    Sheets("HIDRÁULICA").Cells(i + 4, 9 + coluna) = V(k, i)
    Sheets("HIDRÁULICA").Cells(i + 4, 10 + coluna) = tau(k, i)
    Sheets("HIDRÁULICA").Cells(i + 4, 11 + coluna) = NA(k, i)
    Sheets("HIDRÁULICA").Cells(i + 4, 12 + coluna) = Froude(k, i)
    Next
    coluna = coluna + 11
Next

End Sub
```

4 COEFICIENTES

```
Sub COEFICIENTES()

'COEFICIENTES
Dim Lc(20, 10000), T(20, 10000), Kd(20, 10000), Ks(20, 10000), Lrd(20, 10000),
K2(20, 10000), Sd(20, 10000) As Double
Dim Ksno(20, 10000), Koa(20, 10000), Kan(20, 10000), Knn(20, 10000), Samon(20,
10000), Ksca(20, 10000), Sca(20, 10000) As Double
Dim Ksp(20, 10000), Kp(20, 10000), Kb(20, 10000), Kmetal(20, 10000), Smetal(20,
10000) As Double
Dim Kd_20(20, 10000), K2_20(20, 10000), Ks_20(20, 10000), Ksno_20(20, 10000),
Ksca_20(20, 10000), Ksp_20(20, 10000) As Double
Dim Koa_20(20, 10000), Kan_20(20, 10000), Knn_20(20, 10000) As Double
Dim Kp_20(20, 10000), Kb_20(20, 10000), Kmetal_20(20, 10000) As Double
Dim Kd_dis(20, 10000), Ks_dis(20, 10000), Lrd_dis(20, 10000), K2_dis(20, 10000),
Sd_dis(20, 10000), Ksca_dis(20, 10000), Sca_dis(20, 10000) As Double
Dim T_dis(20, 10000), Ksno_dis(20, 10000), Koa_dis(20, 10000), Kan_dis(20, 10000),
Knn_dis(20, 10000), Samon_dis(20, 10000) As Double
Dim Ksp_dis(20, 10000), Kp_dis(20, 10000), Kb_dis(20, 10000), Kmetal_dis(20,
10000), Smetal_dis(20, 10000) As Double
Dim nc(20), Amostras(20) As Integer
Dim dL(100), L(20, 10000), dT(20), Lfinal(100) As Double
Dim V(20, 10000), h(20, 10000), Q(20, 10000) As Double

coluna = 6
'IDENTIFICAÇÃO DA QUANTIDADE DE CANAIS:
ind = 1
Ncanais = 0
While Sheets("TOPOLOGIA").Cells(6, ind + 2) <> ""
    Ncanais = Ncanais + 1
    ind = ind + coluna
Wend
```

```
'LEITURA DO NÚMERO DE CÉLULAS
coluna2 = 11
cont = 0
For k = 1 To Ncanais
    nc(k) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(5, 3 + cont)
    cont = cont + coluna2
Next

'LEITURA DOS COEFICIENTES
coluna2 = 18
For k = 1 To Ncanais
cont = 1
    While Sheets("COEFICIENTES").Cells(5 + cont, coluna + 2) <> ""
    cont = cont + 1
    Wend
    coluna = coluna + coluna2
    Amostras(k) = cont - 1
Next

'LEITURA DA VELOCIDADE E DA PROFUNDIDADE
col = 0
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    Q(k, i) = Sheets("HIDRÁULICA").Cells(4 + i, col + 4)
    V(k, i) = Sheets("HIDRÁULICA").Cells(4 + i, col + 9)
    h(k, i) = Sheets("HIDRÁULICA").Cells(4 + i, col + 8)
    Next
    col = col + 11
Next

coluna = 0
coluna2 = 20
For k = 1 To Ncanais
    ind = 1
    For i = 1 To Amostras(k)
        Lc(k, i) = Sheets("COEFICIENTES").Cells(5 + ind, coluna + 3)
        T(k, i) = Sheets("COEFICIENTES").Cells(5 + ind, coluna + 4)
        If (Sheets("COEFICIENTES").Cells(5 + ind, coluna + 5) <> "") Then
            K2_20(k, i) = Sheets("COEFICIENTES").Cells(5 + ind, coluna + 5)
            ElseIf (h(k, i) >= 0.6 And h(k, i) < 4 And V(k, i) >= 0.05 And V(k, i)
< 0.8) Then 'Oconnor & Dobbins
            K2_20(k, i) = 3.93 * (V(k, i) ^ 0.5) * (h(k, i) ^ (-1.5))
            ElseIf (h(k, i) >= 0.6 And h(k, i) < 4 And V(k, i) >= 0.8 And V(k, i) <
1.5) Then 'Churcill et all
            K2_20(k, i) = 5 * (V(k, i) ^ 0.97) * (h(k, i) ^ (-1.67))
```

```
            ElseIf (h(k, i) > 0.1 And h(k, i) < 0.6 And V(k, i) > 0.05 And V(k, i)
< 1.5) Then 'Owens et al
            K2_20(k, i) = 5.3 * (V(k, i) ^ 0.67) * (h(k, i) ^ (-1.85))
            ElseIf (Q(k, i) > 10) Then
            K2_20(k, i) = 20.74 * Q(k, i) ^ (-0.42)
            ElseIf (Q(k, i) < 10) Then
            K2_20(k, i) = 15.95 * Q(k, i) ^ (-0.6)
        End If
        Sd(k, i) = Sheets("COEFICIENTES").Cells(5 + ind, coluna + 6)
        Kd_20(k, i) = Sheets("COEFICIENTES").Cells(5 + ind, coluna + 7)
        Ks(k, i) = Sheets("COEFICIENTES").Cells(5 + ind, coluna + 8)
        Lrd(k, i) = Sheets("COEFICIENTES").Cells(5 + ind, coluna + 9)
        Ksca(k, i) = Sheets("COEFICIENTES").Cells(5 + ind, coluna + 10)
        Sca(k, i) = Sheets("COEFICIENTES").Cells(5 + ind, coluna + 11)
        Ksno(k, i) = Sheets("COEFICIENTES").Cells(5 + ind, coluna + 12)
        Koa_20(k, i) = Sheets("COEFICIENTES").Cells(5 + ind, coluna + 13)
        Kan_20(k, i) = Sheets("COEFICIENTES").Cells(5 + ind, coluna + 14)
        Knn_20(k, i) = Sheets("COEFICIENTES").Cells(5 + ind, coluna + 15)
        Samon(k, i) = Sheets("COEFICIENTES").Cells(5 + ind, coluna + 16)
        Ksp(k, i) = Sheets("COEFICIENTES").Cells(5 + ind, coluna + 17)
        Kp_20(k, i) = Sheets("COEFICIENTES").Cells(5 + ind, coluna + 18)
        Kb_20(k, i) = Sheets("COEFICIENTES").Cells(5 + ind, coluna + 19)
        Kmetal(k, i) = Sheets("COEFICIENTES").Cells(5 + ind, coluna + 20)
        Smetal(k, i) = Sheets("COEFICIENTES").Cells(5 + ind, coluna + 21)
        ind = ind + 1
    Next
    coluna = coluna + coluna2
Next

'TRANSFORMAÇÃO DOS COEFICIENTES PARA TEMPERATURA T

For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To Amostras(k)
    Kd(k, i) = Kd_20(k, i) * (1.047 ^ (T(k, i) - 20))
    K2(k, i) = K2_20(k, i) * (1.024 ^ (T(k, i) - 20))
    Koa(k, i) = Koa_20(k, i) * (1.047 ^ (T(k, i) - 20))
    Kan(k, i) = Kan_20(k, i) * (1.08 ^ (T(k, i) - 20))
    Knn(k, i) = Kan_20(k, i) * (1.047 ^ (T(k, i) - 20))
    Kp(k, i) = Kp_20(k, i) * (1.047 ^ (T(k, i) - 20))
    Kb(k, i) = Kb_20(k, i) * (1.07 ^ (T(k, i) - 20))
    Next i
Next k

'ESTIMATIVA DOS COEFICIENTES NAS SEÇÕES DISCRETAS DOS CANAIS

coluna2 = 29
```

```
cont = 0
For k = 1 To Ncanais
    Lfinal(k) = Lc(k, Amostras(k))
    dL(k) = Lfinal(k) / (nc(k) - 1)
    j = 1    'seção de leitura do coeficiente
    For i = 1 To nc(k)
        L(k, i) = dL(k) * (i - 1)
        T_dis(k, i) = (L(k, i) - Lc(k, j)) / (Lc(k, j + 1) - Lc(k, j)) * (T(k, j +
1) - T(k, j)) + T(k, j)
        K2_dis(k, i) = (L(k, i) - Lc(k, j)) / (Lc(k, j + 1) - Lc(k, j)) * (K2(k, j
+ 1) - K2(k, j)) + K2(k, j)
        Sd_dis(k, i) = (L(k, i) - Lc(k, j)) / (Lc(k, j + 1) - Lc(k, j)) * (Sd(k, j
+ 1) - Sd(k, j)) + Sd(k, j)
        Kd_dis(k, i) = (L(k, i) - Lc(k, j)) / (Lc(k, j + 1) - Lc(k, j)) * (Kd(k, j
+ 1) - Kd(k, j)) + Kd(k, j)
        Ks_dis(k, i) = (L(k, i) - Lc(k, j)) / (Lc(k, j + 1) - Lc(k, j)) * (Ks(k, j
+ 1) - Ks(k, j)) + Ks(k, j)
        Lrd_dis(k, i) = (L(k, i) - Lc(k, j)) / (Lc(k, j + 1) - Lc(k, j)) * (Lrd(k,
j + 1) - Lrd(k, j)) + Lrd(k, j)
        Ksno_dis(k, i) = (L(k, i) - Lc(k, j)) / (Lc(k, j + 1) - Lc(k, j)) *
(Ksno(k, j + 1) - Ksno(k, j)) + Ksno(k, j)
        Koa_dis(k, i) = (L(k, i) - Lc(k, j)) / (Lc(k, j + 1) - Lc(k, j)) * (Koa(k,
j + 1) - Koa(k, j)) + Koa(k, j)
        Ksca_dis(k, i) = (L(k, i) - Lc(k, j)) / (Lc(k, j + 1) - Lc(k, j)) *
(Ksca(k, j + 1) - Ksca(k, j)) + Ksca(k, j)
        Sca_dis(k, i) = (L(k, i) - Lc(k, j)) / (Lc(k, j + 1) - Lc(k, j)) * (Sca(k,
j + 1) - Sca(k, j)) + Sca(k, j)
        Kan_dis(k, i) = (L(k, i) - Lc(k, j)) / (Lc(k, j + 1) - Lc(k, j)) * (Kan(k,
j + 1) - Kan(k, j)) + Kan(k, j)
        Knn_dis(k, i) = (L(k, i) - Lc(k, j)) / (Lc(k, j + 1) - Lc(k, j)) * (Knn(k,
j + 1) - Knn(k, j)) + Knn(k, j)
        Samon_dis(k, i) = (L(k, i) - Lc(k, j)) / (Lc(k, j + 1) - Lc(k, j)) *
(Samon(k, j + 1) - Samon(k, j)) + Samon(k, j)
        Ksp_dis(k, i) = (L(k, i) - Lc(k, j)) / (Lc(k, j + 1) - Lc(k, j)) * (Ksp(k,
j + 1) - Ksp(k, j)) + Ksp(k, j)
        Kp_dis(k, i) = (L(k, i) - Lc(k, j)) / (Lc(k, j + 1) - Lc(k, j)) * (Kp(k, j
+ 1) - Kp(k, j)) + Kp(k, j)
        Kb_dis(k, i) = (L(k, i) - Lc(k, j)) / (Lc(k, j + 1) - Lc(k, j)) * (Kb(k, j
+ 1) - Kb(k, j)) + Kb(k, j)
        Kmetal_dis(k, i) = (L(k, i) - Lc(k, j)) / (Lc(k, j + 1) - Lc(k, j)) *
(Kmetal(k, j + 1) - Kmetal(k, j)) + Kmetal(k, j)
        Smetal_dis(k, i) = (L(k, i) - Lc(k, j)) / (Lc(k, j + 1) - Lc(k, j)) *
(Smetal(k, j + 1) - Smetal(k, j)) + Smetal(k, j)

        If (L(k, i) >= Lc(k, j + 1)) Then
            j = j + 1
```

```
        End If

        Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 3 + cont) = L(k, i)
        Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 4 + cont) = T_dis(k, i)
        Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 5 + cont) = K2_dis(k, i)
        Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 6 + cont) = Sd_dis(k, i)
        Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 7 + cont) = Kd_dis(k, i)
        Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 8 + cont) = Ks_dis(k, i)
        Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 9 + cont) = Lrd_dis(k, i)
        Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 10 + cont) = Ksca_dis(k, i)
        Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 11 + cont) = Sca_dis(k, i)
        Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 12 + cont) = Ksno_dis(k, i)
        Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 13 + cont) = Koa_dis(k, i)
        Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 14 + cont) = Kan_dis(k, i)
        Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 15 + cont) = Knn_dis(k, i)
        Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 16 + cont) = Samon_dis(k, i)
        Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 17 + cont) = Ksp_dis(k, i)
        Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 18 + cont) = Kp_dis(k, i)
        Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 19 + cont) = Kb_dis(k, i)
        Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 20 + cont) = Kmetal_dis(k, i)
        Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 21 + cont) = Smetal_dis(k, i)
    Next i
    cont = cont + coluna2
Next k

End Sub
```

5 CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DE DBO

```
Sub CONCENTRAÇÃO_DBO()

'==================================================================================
'========= CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO PARA A DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO ==========
'==================================================================================

'DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS
'------------------------

'DADOS A MONTANTE DO RIO PRINCIPAL E AFLUENTES
Dim Qmon(20), DBOmon(20) As Double

'LANÇAMENTOS
Dim Qep(20, 10000), Lep(20, 10000), Qed(20, 10000), Ldi(20, 10000), Ldf(20, 10000),
Nlançp(20), Nlançd(20) As Double
```

```
Dim DBOep(20, 10000), DBOed(20, 10000) As Double 'parâmetros dos lançamentos
pontuais
Dim DBOep_no(20, 10000), Qep_no(20, 10000) As Double
Dim DBOed_no(20, 10000), Qed_no(20, 10000), IDE(20, 10000) As Double

'CONCENTRAÇÕES
Dim C(20, 10000), Ip(20, 10000), C_prin(20, 10000) As Double
Dim Cs(20, 10000) As Double
Dim ipivô(20), DBOaflu(20), Laflu(20) As Double

'HIDRÁULICA E DADOS GEOMÉTRICOS
Dim x(20, 10000), y(20, 10000), z(20, 10000), h(20, 10000), L(20, 10000), V(20,
10000), Q(20, 10000) As Double
Dim nc(20), dL(20), dT(20, 10000) As Double

'COEFICIENTES
Dim T_dis(20, 10000), Kd_dis(20, 10000), Ks_dis(20, 10000), Lrd_dis(20, 10000) As
Double
Dim K2_dis(20, 10000), Sd_dis(20, 10000), Ksno_dis(20, 10000), Koa_dis(20, 10000),
Kan_dis(20, 10000) As Double
Dim Knn_dis(20, 10000), Samon_dis(20, 10000), Ksp_dis(20, 10000), Kp_dis(20, 10000)
As Double
Dim Spinor_dis(20, 10000), Kb_dis(20, 10000), Kmetal_dis(20, 10000), Smetal_dis(20,
10000) As Double
Dim Ksca_dis(20, 10000), Kdca_dis(20, 10000) As Double

'NOVAS MATRIZES PARA ENTRADA DE AFLUENTES NO CANAL PRINCIPAL:
Dim Caflu(1, 10000), Qaflu(1, 10000) As Double

'IDENTIFICAÇÃO DA QUANTIDADE DE CANAIS:
ind = 1
coluna = 6
Ncanais = 0
While Sheets("TOPOLOGIA").Cells(6, ind + 2) <> ""
    Ncanais = Ncanais + 1
    ind = ind + coluna
Wend

'LEITURA DO NÚMERO DE CÉLULAS
coluna2 = 11
cont = 0
For k = 1 To Ncanais
    nc(k) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(5, 3 + cont)
    dL(k) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(7, 3 + cont)
    cont = cont + coluna2
Next
```

```
'LEITURA DOS DADOS GEOMÉTRICOS DO RIO

ind = 0
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    x(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 4 + ind)
    y(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 5 + ind)
    z(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 6 + ind)
    L(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 7 + ind)
    Next
    ind = ind + 11
Next

'LEITURA DOS DADOS HIDRÁULICOS

col = 0
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    Q(k, i) = Sheets("HIDRÁULICA").Cells(4 + i, 4 + col)
    V(k, i) = Sheets("HIDRÁULICA").Cells(4 + i, 9 + col)
    h(k, i) = Sheets("HIDRÁULICA").Cells(4 + i, 8 + col)
    Next
    col = col + 11
Next

'LEITURA DOS COEFICIENTES E TEMPERATURAS

cont = 0
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
        T_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 4 + cont)
        K2_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 5 + cont)
        Sd_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 6 + cont)
        Kd_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 7 + cont)
        Ks_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 8 + cont)
        Lrd_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 9 + cont)
        Ksca_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 10 + cont)
        Kdca_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 11 + cont)
        Ksno_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 12 + cont)
        Koa_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 13 + cont)
        Kan_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 14 + cont)
        Knn_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 15 + cont)
        Samon_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 16 + cont)
        Ksp_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 17 + cont)
        Kp_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 18 + cont)
```

```
        Kb_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 19 + cont)
        Kmetal_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 20 + cont)
        Smetal_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 21 + cont)
    Next
    cont = cont + 29
Next

'CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES AO LONGO DO RIO
'==========================================
'~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~

'LEITURA DOS DADOS A MONTANTE DOS LANÇAMENTOS
coluna = 1
For k = 1 To Ncanais
    Qmon(k) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(6, 3 + coluna)
    DBOmon(k) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(6, 5 + coluna)
    coluna = coluna + 13
Next

'LEITURA DAS CONCENTRAÇÕES DOS LANÇAMENTOS PONTUAIS

ind = 1
For k = 1 To Ncanais
Nlançp(k) = 0
i = 0
    While Sheets("C PONTUAIS").Cells(9 + i, ind + 2) <> ""
        Nlançp(k) = Nlançp(k) + 1
        i = i + 1
    Wend
    ind = ind + 14
Next

coluna = 1
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To Nlançp(k)
    Lep(k, i) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(8 + i, 3 + coluna)
    Qep(k, i) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(8 + i, 4 + coluna)
    DBOep(k, i) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(8 + i, 6 + coluna)
    'i = i + 1
    Next
coluna = coluna + 13

Next

'LEITURA DAS CONCENTRAÇÕES DOS LANÇAMENTOS DIFUSOS
```

```
ind = 1
For k = 1 To Ncanais
Nlançd(k) = 0
i = 0
    While Sheets("C DIFUSAS").Cells(5 + i, ind + 3) <> ""
        Nlançd(k) = Nlançd(k) + 1
        i = i + 1
    Wend
    ind = ind + 14
Next

coluna = 1
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To Nlançd(k)
    Ldi(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 3 + coluna)
    Ldf(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 4 + coluna)
    Qed(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 5 + coluna)
    DBOed(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 7 + coluna)
    'i = i + 1
    Next
    coluna = coluna + 14
Next

'INTERVALO DE TEMPO
'------------------

For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    dT(k, i) = dL(k) / (V(k, i) * 86400)
    Next
Next

'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IP) PARA LANÇAMENTO PONTUAL DE POLUENTES (AFLUENTES)
'-------------------------------------------------------------------------------

'inicializando

For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
        Ip(k, i) = 0
        Qep_no(k, i) = 0
        DBOep_no(k, i) = 0
    Next
Next

'verificando entradas pontuais
```

```
For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
        For j = 1 To Nlançp(k)
        If (L(k, i) >= Lep(k, j) And (L(k, i) - Lep(k, j)) < dL(k)) Then
        Ip(k, i) = 1
        Qep_no(k, i) = Qep(k, j)
        DBOep_no(k, i) = DBOep(k, j)
        End If
        Next j
    Next i
Next k

'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IDE) PARA LANÇAMENTO DIFUSO DE POLUENTES (AFLUENTES)
'-------------------------------------------------------------------------------------

'inicializando
For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
        IDE(k, i) = 0
        Qed_no(k, i) = 0
        DBOed_no(k, i) = 0
    Next
Next

'verificando entradas DIFUSAS
For k = 2 To Ncanais
    idif = 1
    For i = 1 To nc(k)
        If (L(k, i) >= Ldi(k, idif) And L(k, i) <= Ldf(k, idif)) Then
            IDE(k, i) = 1
            Qed_no(k, i) = Qed(k, idif) * dL(k)
            DBOed_no(k, i) = DBOed(k, idif)
        End If
        If (L(k, i) > Ldf(k, idif)) Then
            idif = idif + 1
        End If
    Next i
Next k

'FORMA GERAL PARA SOLUÇÃO DAS EQUAÇÕES E CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES DEVIDO A
INJEÇÕES NOS AFLUENTES
'-------------------------------------------------------------------------------------

For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    If (i = 1 And Ip(k, i) = 0) Then
```

```
    C(k, i) = DBOmon(k)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And IDE(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = (DBOmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * DBOep_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And IDE(k, i) = 1) Then
    C(k, i) = (DBOmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * DBOep_no(k, i) + Qed_no(k, i) *
DBOed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And IDE(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = (C(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * DBOep_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And IDE(k, i) = 1) Then
    C(k, i) = (C(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * DBOep_no(k, i) +
Qed_no(k, i) * DBOed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C(k, i) = (C(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qed_no(k, i) * DBOed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = C(k, i - 1) + dT(k, i) * (-Kd_dis(k, i) * C(k, i - 1) - (Ks_dis(k, i)
/ h(k, i)) * C(k, i - 1) + (Lrd_dis(k, i) / h(k, i)))
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) < 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = C(k, i - 1) + dT(k, i) * (-Kd_dis(k, i) * C(k, i - 1) - (Ks_dis(k, i)
/ h(k, i)) * C(k, i - 1) + (Lrd_dis(k, i) / h(k, i)))
    End If
    Next
Next

'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IP) PARA LANÇAMENTO PONTUAL DE POLUENTES (RIO
PRINCIPAL)
'-------------------------------------------------------------------------------------

'inicializando
k = 1
For i = 1 To nc(k)
    'entradas pontuais por emissários no rio principal:
    Ip(k, i) = 0
    Qep_no(k, i) = 0
    DBOep_no(k, i) = 0
    'entradas pontuais por descargas de afluentes no rio principal:
    Caflu(k, i) = 0
    Qaflu(k, i) = 0
Next

'verificando entradas pontuais por emissários no rio principal:
k = 1
For i = 1 To nc(k)
    For j = 1 To Nlançp(k)
        If (L(k, i) >= Lep(k, j) And (L(k, i) - Lep(k, j)) < dL(k)) Then
            Ip(k, i) = 1
            Qep_no(k, i) = Qep(k, j)
```

```
            DBOep_no(k, i) = DBOep(k, j)
        End If
    Next j
Next i

'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IDE) PARA LANÇAMENTO PONTUAL DE POLUENTES (RIO
PRINCIPAL)
'-------------------------------------------------------------------------------

'inicializando
k = 1
For i = 1 To nc(k)
    'entradas difusas por emissários no rio principal:
    IDE(k, i) = 0
    Qed_no(k, i) = 0
    DBOed_no(k, i) = 0
Next

'verificando entradas difusas por emissários no rio principal:
k = 1
idif = 1
For i = 1 To nc(k)
    If (L(k, i) >= Ldi(k, idif) And (L(k, i) <= Ldf(k, idif))) Then
        IDE(k, i) = 1
        Qed_no(k, i) = Qed(k, idif) * dL(k)
        DBOed_no(k, i) = DBOed(k, idif)
    End If
    If (L(k, i) > Ldf(k, idif)) Then
        idif = idif + 1
    End If
Next i

'LANÇANDO AS CONTRIBUIÇÕES DOS AFLUENTES NO RIO PRINCIPAL
'-------------------------------------------------------
For k = 2 To Ncanais
distmin = 10000#
    For i = 1 To nc(1)
        dist = Sqr((x(k, nc(k)) - x(1, i)) ^ 2 + (y(k, nc(k)) - y(1, i)) ^ 2)
        If (dist < distmin) Then
            distmin = dist
            ipivô(k) = i
        End If
    Next i
Next k

For k = 2 To Ncanais
```

```
For i = 1 To nc(1)
    If (i = ipivô(k)) Then
        Ip(1, i) = 2
        Caflu(1, i) = C(k, nc(k))
        Qaflu(1, i) = Q(k, nc(k))
    End If
Next
Next

'SOLUÇÃO DAS EQUAÇÕES E CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES DEVIDO A INJEÇÕES PONTUAIS NO RIO
PRINCIPAL
'-------------------------------------------------------------------------------

k = 1
For i = 1 To nc(k)
    If (i = 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = DBOmon(k)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) < 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = DBOmon(k)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_prin(k, i) = (DBOmon(k) * Qmon(k) + Qed_no(k, i) * DBOed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = (DBOmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * DBOep_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_prin(k, i) = (DBOmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * DBOep_no(k, i) + Qed_no(k,
i) * DBOed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * DBOep_no(k, i))
/ Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qed_no(k, i) * DBOed_no(k, i))
/ Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = C_prin(k, i - 1) + dT(k, i) * (-Kd_dis(k, i) * C_prin(k, i - 1)
- (Ks_dis(k, i) / h(k, i)) * C_prin(k, i - 1) + (Lrd_dis(k, i) / h(k, i)))
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) < 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = C_prin(k, i - 1) + dT(k, i) * (-Kd_dis(k, i) * C_prin(k, i - 1)
- (Ks_dis(k, i) / h(k, i)) * C_prin(k, i - 1) + (Lrd_dis(k, i) / h(k, i)))
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 2 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qaflu(1, i) * Caflu(1, i)) /
Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 2 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qaflu(1, i) * Caflu(1, i) +
Qed(k, i) * DBOed_no(k, i)) / Q(k, i)
    End If
Next
```

```
'SAÍDA DOS RESULTADOS
'--------------------
cont = 0
For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(4 + i, 52 + cont) = C(k, i)
    Next
    cont = cont + 29
Next

For k = 1 To 1
    For i = 1 To nc(k)
    Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(4 + i, 23) = C_prin(k, i)
    Next
Next

DoEvents
'MsgBox ("CÁLCULO FINALIZADO!")
Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(1, 1).Activate
End Sub
```

6 CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO E NITROGÊNIO

```
Sub CONCENTRAÇÃO_OD_NITRO()

'==================================================================================
'== CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO PARA OXIGÊNIO DISSOLVIDO E NITROGÊNIO E SUAS FRAÇÕES ==
'==================================================================================

'DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS
'------------------------

'DADOS A MONTANTE DO RIO PRINCIPAL E AFLUENTES
Dim Qmon(20), ODmon(20), NOmon(20), NAmon(20), NImon(20) As Double

'LANÇAMENTOS
Dim Qep(20, 10000), Lep(20, 10000), Qed(20, 10000), Ldi(20, 10000), Ldf(20, 10000),
Nlançp(20), Nlançd(20) As Double
Dim ODep(20, 10000), ODed(20, 10000) As Double 'parâmetros dos lançamentos pontuais
Dim NOep(20, 10000), NOed(20, 10000) As Double 'parâmetros dos lançamentos pontuais
Dim NAep(20, 10000), NAed(20, 10000) As Double 'parâmetros dos lançamentos pontuais
Dim NIep(20, 10000), NIed(20, 10000) As Double 'parâmetros dos lançamentos pontuais
Dim ODep_no(20, 10000), ODed_no(20, 10000) As Double 'parâmetros dos lançamentos
pontuais no nó
```

```
Dim NOep_no(20, 10000), NOed_no(20, 10000) As Double 'parâmetros dos lançamentos
pontuais no nó
Dim NAep_no(20, 10000), NAed_no(20, 10000) As Double 'parâmetros dos lançamentos
pontuais no nó
Dim NIep_no(20, 10000), NIed_no(20, 10000) As Double 'parâmetros dos lançamentos
pontuais no nó
Dim Qep_no(20, 10000), Qed_no(20, 10000), IDE(20, 10000), Ip(20, 10000) As Double

'CONCENTRAÇÕES
Dim C_OD(20, 10000), C_NO(20, 10000), C_NA(20, 10000), C_NI(20, 10000) As Double
'afluentes
Dim C_OD_prin(20, 10000), C_NO_prin(20, 10000), C_NA_prin(20, 10000), C_NI_prin(20,
10000) As Double
Dim Cs(20, 10000), C_NII(20, 10000), C_NII_prin(20, 10000) As Double
Dim ipivô(20), ODaflu(20, 10000), Laflu(20), NOaflu(20, 10000), NAaflu(20, 10000),
NIaflu(20, 10000) As Double
Dim DBO(20, 10000) As Double

'HIDRÁULICA E DADOS GEOMÉTRICOS
Dim x(20, 10000), y(20, 10000), z(20, 10000), h(20, 10000), L(20, 10000), V(20,
10000), Q(20, 10000) As Double
Dim nc(20), dL(20), dT(20, 10000) As Double

'COEFICIENTES
Dim T_dis(20, 10000), Kd_dis(20, 10000), Vs_dis(20, 10000), Lrd_dis(20, 10000) As
Double
Dim K2_dis(20, 10000), Sd_dis(20, 10000), Ksno_dis(20, 10000), Koa_dis(20, 10000),
Kan_dis(20, 10000) As Double
Dim Knn_dis(20, 10000), Samon_dis(20, 10000), Vsp_dis(20, 10000), Kp_dis(20, 10000)
As Double
Dim Spinor_dis(20, 10000), Kb_dis(20, 10000), Kmetal_dis(20, 10000), Smetal_dis(20,
10000) As Double
Dim Vsca_dis(20, 10000), Kdca_dis(20, 10000) As Double

'NOVAS MATRIZES PARA ENTRADA DE AFLUENTES NO CANAL PRINCIPAL:
Dim Caflu(1, 10000), Qaflu(1, 10000) As Double

'IDENTIFICAÇÃO DA QUANTIDADE DE CANAIS:
ind = 1
coluna = 6
Ncanais = 0
While Sheets("TOPOLOGIA").Cells(6, ind + 2) <> ""
    Ncanais = Ncanais + 1
    ind = ind + coluna
Wend
```

```
'LEITURA DO NÚMERO DE CÉLULAS
coluna2 = 11
cont = 0
For k = 1 To Ncanais
    nc(k) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(5, 3 + cont)
    dL(k) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(7, 3 + cont)
    cont = cont + coluna2
Next

'LEITURA DOS DADOS GEOMÉTRICOS DO RIO

ind = 0
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    x(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 4 + ind)
    y(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 5 + ind)
    z(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 6 + ind)
    L(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 7 + ind)
    Next
    ind = ind + 11
Next

'LEITURA DOS DADOS HIDRÁULICOS

col = 0
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    Q(k, i) = Sheets("HIDRÁULICA").Cells(4 + i, 4 + col)
    V(k, i) = Sheets("HIDRÁULICA").Cells(4 + i, 9 + col)
    h(k, i) = Sheets("HIDRÁULICA").Cells(4 + i, 8 + col)
    Next
    col = col + 11
Next

'LEITURA DOS COEFICIENTES E TEMPERATURAS

cont = 0
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
        T_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 4 + cont)
        K2_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 5 + cont)
        Sd_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 6 + cont)
        Kd_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 7 + cont)
        Vs_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 8 + cont)
        Lrd_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 9 + cont)
        Vsca_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 10 + cont)
```

```
        Kdca_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 11 + cont)
        Ksno_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 12 + cont)
        Koa_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 13 + cont)
        Kan_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 14 + cont)
        Knn_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 15 + cont)
        Samon_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 16 + cont)
        Vsp_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 17 + cont)
        Kp_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 18 + cont)
        Kb_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 19 + cont)
        Kmetal_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 20 + cont)
        Smetal_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 21 + cont)
        DBO(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 23 + cont)
    Next
    cont = cont + 29
Next

'CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES AO LONGO DO RIO
'==========================================
'~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~

'LEITURA DOS DADOS A MONTANTE DOS LANÇAMENTOS
coluna = 1
For k = 1 To Ncanais
    Qmon(k) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(6, 3 + coluna)
    ODmon(k) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(6, 4 + coluna)
    NOmon(k) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(6, 7 + coluna)
    NAmon(k) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(6, 8 + coluna)
    NImon(k) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(6, 9 + coluna)
    coluna = coluna + 13
Next

'LEITURA DAS CONCENTRAÇÕES DOS LANÇAMENTOS PONTUAIS

ind = 1
For k = 1 To Ncanais
Nlançp(k) = 0
i = 0
    While Sheets("C PONTUAIS").Cells(9 + i, ind + 2) <> ""
        Nlançp(k) = Nlançp(k) + 1
        i = i + 1
    Wend
    ind = ind + 14
Next

coluna = 1
For k = 1 To Ncanais
```

```
    For i = 1 To Nlançp(k)
    Lep(k, i) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(8 + i, 3 + coluna)
    Qep(k, i) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(8 + i, 4 + coluna)
    ODep(k, i) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(8 + i, 5 + coluna)
    NOep(k, i) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(8 + i, 8 + coluna)
    NAep(k, i) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(8 + i, 9 + coluna)
    NIep(k, i) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(8 + i, 10 + coluna)
    Next
coluna = coluna + 13
Next

'LEITURA DAS CONCENTRAÇÕES DOS LANÇAMENTOS DIFUSOS

ind = 1
For k = 1 To Ncanais
Nlançd(k) = 0
i = 0
    While Sheets("C DIFUSAS").Cells(5 + i, ind + 3) <> ""
        Nlançd(k) = Nlançd(k) + 1
        i = i + 1
    Wend
    ind = ind + 14
Next

coluna = 1
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To Nlançd(k)
    Ldi(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 3 + coluna)
    Ldf(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 4 + coluna)
    Qed(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 5 + coluna)
    ODed(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 6 + coluna)
    NOed(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 9 + coluna)
    NAed(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 10 + coluna)
    NIed(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 11 + coluna)
    'i = i + 1
    Next
    coluna = coluna + 14
Next
'INTERVALO DE TEMPO
'------------------

For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    dT(k, i) = dL(k) / (V(k, i) * 86400)
    Next
Next
```

```
'CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DE SATURAÇÃO
'~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~

For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    Cs(k, i) = (14.652 - 4.1022 * 0.1 * T_dis(k, i) + 7.991 * 0.001 * (T_dis(k, i)
^ 2) - 7.7774 * 0.00001 * (T_dis(k, i) ^ 3)) * (1 - z(k, i) / 9450)
    Next
Next

'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IP) PARA LANÇAMENTO PONTUAL DE POLUENTES (AFLUENTES)
'-------------------------------------------------------------------------------

'inicializando

For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
        Ip(k, i) = 0
        Qep_no(k, i) = 0
        ODep_no(k, i) = 0
        NOep_no(k, i) = 0
        NAep_no(k, i) = 0
        NIep_no(k, i) = 0
    Next
Next

'verificando entradas pontuais
For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
        For j = 1 To Nlançp(k)
        If (L(k, i) >= Lep(k, j) And (L(k, i) - Lep(k, j)) < dL(k)) Then
        Ip(k, i) = 1
        Qep_no(k, i) = Qep(k, j)
        ODep_no(k, i) = ODep(k, j)
        NOep_no(k, i) = NOep(k, j)
        NAep_no(k, i) = NAep(k, j)
        NIep_no(k, i) = NIep(k, j)
        End If
        Next j
    Next i
Next k

'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IDE) PARA LANÇAMENTO DIFUSO DE POLUENTES (AFLUENTES)
'-------------------------------------------------------------------------------
```

```
'inicializando
For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
        IDE(k, i) = 0
        Qed_no(k, i) = 0
        ODed_no(k, i) = 0
        NOed_no(k, i) = 0
        NAed_no(k, i) = 0
        NIed_no(k, i) = 0
    Next
Next

'verificando entradas DIFUSAS
For k = 2 To Ncanais
    idif = 1
    For i = 1 To nc(k)
        If (L(k, i) >= Ldi(k, idif) And L(k, i) <= Ldf(k, idif)) Then
            IDE(k, i) = 1
            Qed_no(k, i) = Qed(k, idif) * dL(k)
            ODed_no(k, i) = ODed(k, idif)
            NOed_no(k, i) = NOed(k, idif)
            NAed_no(k, i) = NAed(k, idif)
            NIed_no(k, i) = NIed(k, idif)
        End If
        If (L(k, i) > Ldf(k, idif)) Then
            idif = idif + 1
        End If
    Next i
Next k

'FORMA GERAL PARA SOLUÇÃO DAS EQUAÇÕES E CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES DEVIDO A
INJEÇÕES NOS AFLUENTES
'-----------------------------------------------------------------------------------

For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    If (i = 1 And Ip(k, i) = 0) Then
    C_NO(k, i) = NOmon(k)
    C_NA(k, i) = NAmon(k)
    C_NI(k, i) = NImon(k)
    C_OD(k, i) = ODmon(k)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) < 0) Then
    C_NO(k, i) = NOmon(k)
    C_NA(k, i) = NAmon(k)
    C_NI(k, i) = NImon(k)
    C_OD(k, i) = ODmon(k)
```

```
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_NO(k, i) = (NOmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * NOep_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_NA(k, i) = (NAmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * NAep_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_NI(k, i) = (NImon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * NIep_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_OD(k, i) = (ODmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * ODep_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_NO(k, i) = (NOmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * NOep_no(k, i) + Qed_no(k, i)
* NOed_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_NA(k, i) = (NAmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * NAep_no(k, i) + Qed_no(k, i)
* NAed_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_NI(k, i) = (NImon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * NIep_no(k, i) + Qed_no(k, i)
* NIed_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_OD(k, i) = (ODmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * ODep_no(k, i) + Qed_no(k, i)
* ODed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_NO(k, i) = (C_NO(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * NOep_no(k, i)) /
Q(k, i)
    C_NA(k, i) = (C_NA(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * NAep_no(k, i)) /
Q(k, i)
    C_NI(k, i) = (C_NI(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * NIep_no(k, i)) /
Q(k, i)
    C_OD(k, i) = (C_OD(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * ODep_no(k, i)) /
Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_NO(k, i) = (C_NO(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * NOep_no(k, i) +
Qed_no(k, i) * NOed_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_NA(k, i) = (C_NA(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * NAep_no(k, i) +
Qed_no(k, i) * NAed_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_NI(k, i) = (C_NI(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * NIep_no(k, i) +
Qed_no(k, i) * NIed_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_OD(k, i) = (C_OD(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * ODep_no(k, i) +
Qed_no(k, i) * ODed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_NO(k, i) = (C_NO(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qed_no(k, i) * NOed_no(k, i)) /
Q(k, i)
    C_NA(k, i) = (C_NA(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qed_no(k, i) * NAed_no(k, i)) /
Q(k, i)
    C_NI(k, i) = (C_NI(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qed_no(k, i) * NIed_no(k, i)) /
Q(k, i)
    C_OD(k, i) = (C_OD(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qed_no(k, i) * ODed_no(k, i)) /
Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_NO(k, i) = C_NO(k, i - 1) + dT(k, i) * (-Koa_dis(k, i) * C_NO(k, i - 1) -
(Ksno_dis(k, i) / h(k, i)) * C_NO(k, i - 1))
```

```
    C_NA(k, i) = C_NA(k, i - 1) + dT(k, i) * (Koa_dis(k, i) * C_NO(k, i - 1) - (3.2
* (1 - Exp(-0.6 * C_OD(k, i - 1))) * Kan_dis(k, i) * C_NA(k, i - 1)) +
(Samon_dis(k, i) / h(k, i)))
    C_NII(k, i) = C_NII(k, i - 1) + dT(k, i) * (3.2 * (1 - Exp(-0.6 * C_OD(k, i -
1))) * Kan_dis(k, i) * C_NA(k, i - 1) - (Knn_dis(k, i) * C_NII(k, i - 1)))
    C_NI(k, i) = C_NI(k, i - 1) + dT(k, i) * (Knn_dis(k, i) * C_NII(k, i - 1))
    C_OD(k, i) = C_OD(k, i - 1) + dT(k, i) * (K2_dis(k, i) * (Cs(k, i) - C_OD(k, i
- 1)) - (Kd_dis(k, i) * DBO(k, i)) - (3.2 * (1 - Exp(-0.6 * C_OD(k, i - 1))) *
Kan_dis(k, i) * C_NA(k, i - 1)) - (Sd_dis(k, i) / h(k, i)))
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) < 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_NO(k, i) = C_NO(k, i - 1) + dT(k, i) * (-Koa_dis(k, i) * C_NO(k, i - 1) -
(Ksno_dis(k, i) / h(k, i)) * C_NO(k, i - 1))
    C_NA(k, i) = C_NA(k, i - 1) + dT(k, i) * (Koa_dis(k, i) * C_NO(k, i - 1) - (3.2
* (1 - Exp(-0.6 * C_OD(k, i - 1))) * Kan_dis(k, i) * C_NA(k, i - 1)) +
(Samon_dis(k, i) / h(k, i)))
    C_NII(k, i) = C_NII(k, i - 1) + dT(k, i) * (3.2 * (1 - Exp(-0.6 * C_OD(k, i -
1))) * Kan_dis(k, i) * C_NA(k, i - 1) - (Knn_dis(k, i) * C_NII(k, i - 1)))
    C_NI(k, i) = C_NI(k, i - 1) + dT(k, i) * (Knn_dis(k, i) * C_NII(k, i - 1))
    C_OD(k, i) = C_OD(k, i - 1) + dT(k, i) * (K2_dis(k, i) * (Cs(k, i) - C_OD(k, i
- 1)) - (Kd_dis(k, i) * DBO(k, i)) - (3.2 * (1 - Exp(-0.6 * C_OD(k, i - 1))) *
Kan_dis(k, i) * C_NA(k, i - 1)) - (Sd_dis(k, i) / h(k, i)))
    End If
    Next
Next

'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IP) PARA LANÇAMENTO PONTUAL DE POLUENTES (RIO
PRINCIPAL)
'-------------------------------------------------------------------------------

'inicializando
k = 1
For i = 1 To nc(k)
    'entradas pontuais por emissários no rio principal:
    Ip(k, i) = 0
    Qep_no(k, i) = 0
    ODep_no(k, i) = 0
    NOep_no(k, i) = 0
    NAep_no(k, i) = 0
    NIep_no(k, i) = 0
    'entradas pontuais por descargas de afluentes no rio principal:
    NOaflu(k, i) = 0
    NAaflu(k, i) = 0
    NIaflu(k, i) = 0
    ODaflu(k, i) = 0
    Qaflu(k, i) = 0
Next
```

```
'verificando entradas pontuais por emissários no rio principal:
k = 1
For i = 1 To nc(k)
    For j = 1 To Nlançp(k)
        If (L(k, i) >= Lep(k, j) And (L(k, i) - Lep(k, j)) < dL(k)) Then
            Ip(k, i) = 1
            Qep_no(k, i) = Qep(k, j)
            ODep_no(k, i) = ODep(k, j)
            NOep_no(k, i) = NOep(k, j)
            NAep_no(k, i) = NAep(k, j)
            NIep_no(k, i) = NIep(k, j)
        End If
    Next j
Next i

'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IDE) PARA LANÇAMENTO PONTUAL DE POLUENTES (RIO
PRINCIPAL)
'-------------------------------------------------------------------------------

'inicializando
k = 1
For i = 1 To nc(k)
    'entradas difusas por emissários no rio principal:
    IDE(k, i) = 0
    Qed_no(k, i) = 0
    ODed_no(k, i) = 0
    NOed_no(k, i) = 0
    NAed_no(k, i) = 0
    NIed_no(k, i) = 0
Next

'verificando entradas difusas por emissários no rio principal:
k = 1
idif = 1
For i = 1 To nc(k)
    If (L(k, i) >= Ldi(k, idif) And (L(k, i) <= Ldf(k, idif))) Then
        IDE(k, i) = 1
        Qed_no(k, i) = Qed(k, idif) * dL(k)
        ODed_no(k, i) = ODed(k, idif)
        NOed_no(k, i) = NOed(k, idif)
        NAed_no(k, i) = NAed(k, idif)
        NIed_no(k, i) = NIed(k, idif)
    End If
    If (L(k, i) > Ldf(k, idif)) Then
        idif = idif + 1
```

```
    End If
Next i

'LANÇANDO AS CONTRIBUIÇÕES DOS AFLUENTES NO RIO PRINCIPAL
'-------------------------------------------------------
For k = 2 To Ncanais
distmin = 10000#
    For i = 1 To nc(1)
        dist = Sqr((x(k, nc(k)) - x(1, i)) ^ 2 + (y(k, nc(k)) - y(1, i)) ^ 2)
        If (dist < distmin) Then
            distmin = dist
            ipivô(k) = i
        End If
    Next i
Next k

For k = 2 To Ncanais
For i = 1 To nc(1)
    If (i = ipivô(k)) Then
        Ip(1, i) = 2
        ODaflu(1, i) = C_OD(k, nc(k))
        NOaflu(1, i) = C_NO(k, nc(k))
        NAaflu(1, i) = C_NA(k, nc(k))
        NIaflu(1, i) = C_NI(k, nc(k))
        Qaflu(1, i) = Q(k, nc(k))
    End If
Next
Next

'SOLUÇÃO DAS EQUAÇÕES E CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES DEVIDO A INJEÇÕES PONTUAIS NO RIO
PRINCIPAL
'-------------------------------------------------------------------------------

k = 1
For i = 1 To nc(k)
    If (i = 1 And Ip(k, i) = 0) Then
    C_NO_prin(k, i) = NOmon(k)
    C_NA_prin(k, i) = NAmon(k)
    C_NI_prin(k, i) = NImon(k)
    C_OD_prin(k, i) = ODmon(k)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) < 0) Then
    C_NO_prin(k, i) = NOmon(k)
    C_NA_prin(k, i) = NAmon(k)
    C_NI_prin(k, i) = NImon(k)
    C_OD_prin(k, i) = ODmon(k)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 0) Then
```

```
    C_NO_prin(k, i) = (NOmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * NOep_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_NA_prin(k, i) = (NAmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * NAep_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_NI_prin(k, i) = (NImon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * NIep_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_OD_prin(k, i) = (ODmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * ODep_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_NO_prin(k, i) = (NOmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * NOep_no(k, i) +
Qed_no(k, i) * NOed_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_NA_prin(k, i) = (NAmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * NAep_no(k, i) +
Qed_no(k, i) * NAed_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_NI_prin(k, i) = (NImon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * NIep_no(k, i) +
Qed_no(k, i) * NIed_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_OD_prin(k, i) = (ODmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * ODep_no(k, i) +
Qed_no(k, i) * ODed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_NO_prin(k, i) = (C_NO_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) *
NOep_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_NA_prin(k, i) = (C_NA_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) *
NAep_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_NI_prin(k, i) = (C_NI_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) *
NIep_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_OD_prin(k, i) = (C_OD_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) *
ODep_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 1 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_NO_prin(k, i) = (C_NO_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) *
NOep_no(k, i) + Qed_no(k, i) * NOed_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_NA_prin(k, i) = (C_NA_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) *
NAep_no(k, i) + Qed_no(k, i) * NAed_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_NI_prin(k, i) = (C_NI_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) *
NIep_no(k, i) + Qed_no(k, i) * NIed_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_OD_prin(k, i) = (C_OD_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) *
ODep_no(k, i) + Qed_no(k, i) * ODed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_NO_prin(k, i) = (C_NO_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qed_no(k, i) *
NOed_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_NA_prin(k, i) = (C_NA_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qed_no(k, i) *
NAed_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_NI_prin(k, i) = (C_NI_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qed_no(k, i) *
NIed_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_OD_prin(k, i) = (C_OD_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qed_no(k, i) *
ODed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 2 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_NO_prin(k, i) = (C_NO_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qaflu(1, i) * NOaflu(1,
i) + Qed_no(k, i) * NOed_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_NA_prin(k, i) = (C_NA_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qaflu(1, i) * NAaflu(1,
i) + Qed_no(k, i) * NAed_no(k, i)) / Q(k, i)
```

```
    C_NI_prin(k, i) = (C_NI_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qaflu(1, i) * NIaflu(1,
i) + Qed_no(k, i) * NIed_no(k, i)) / Q(k, i)
    C_OD_prin(k, i) = (C_OD_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qaflu(1, i) * ODaflu(1,
i) + Qed_no(k, i) * ODed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 2 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_NO_prin(k, i) = (C_NO_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qaflu(1, i) * NOaflu(1,
i)) / Q(k, i)
    C_NA_prin(k, i) = (C_NA_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qaflu(1, i) * NAaflu(1,
i)) / Q(k, i)
    C_NI_prin(k, i) = (C_NI_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qaflu(1, i) * NIaflu(1,
i)) / Q(k, i)
    C_OD_prin(k, i) = (C_OD_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qaflu(1, i) * ODaflu(1,
i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_NO_prin(k, i) = C_NO_prin(k, i - 1) + dT(k, i) * (-Koa_dis(k, i) *
C_NO_prin(k, i - 1) - (Ksno_dis(k, i) / h(k, i)) * C_NO_prin(k, i - 1))
    C_NA_prin(k, i) = C_NA_prin(k, i - 1) + dT(k, i) * (Koa_dis(k, i) *
C_NO_prin(k, i - 1) - (3.2 * (1 - Exp(-0.6 * C_OD(k, i - 1))) * Kan_dis(k, i) *
C_NA_prin(k, i - 1)) + (Samon_dis(k, i) / h(k, i)))
    C_NII_prin(k, i) = C_NII_prin(k, i - 1) + dT(k, i) * (3.2 * (1 - Exp(-0.6 *
C_OD(k, i - 1))) * Kan_dis(k, i) * C_NA(k, i - 1) - Knn_dis(k, i) * C_NII_prin(k, i
- 1))
    C_NI_prin(k, i) = C_NI_prin(k, i - 1) + dT(k, i) * (Knn_dis(k, i) *
C_NII_prin(k, i - 1))
    C_OD_prin(k, i) = C_OD_prin(k, i - 1) + dT(k, i) * (K2_dis(k, i) * (Cs(k, i) -
C_OD_prin(k, i - 1)) - (Kd_dis(k, i) * DBO(k, i)) - (3.2 * (1 - Exp(-0.6 *
C_OD_prin(k, i - 1))) * Kan_dis(k, i) * C_NA_prin(k, i - 1)) - (Sd_dis(k, i) / h(k,
i)))
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) < 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_NO_prin(k, i) = C_NO_prin(k, i - 1) + dT(k, i) * (-Koa_dis(k, i) *
C_NO_prin(k, i - 1) - (Ksno_dis(k, i) / h(k, i)) * C_NO_prin(k, i - 1))
    C_NA_prin(k, i) = C_NA_prin(k, i - 1) + dT(k, i) * (Koa_dis(k, i) *
C_NO_prin(k, i - 1) - (3.2 * (1 - Exp(-0.6 * C_OD(k, i - 1))) * Kan_dis(k, i) *
C_NA_prin(k, i - 1)) + (Samon_dis(k, i) / h(k, i)))
    C_NII_prin(k, i) = C_NII_prin(k, i - 1) + dT(k, i) * (3.2 * (1 - Exp(-0.6 *
C_OD(k, i - 1))) * Kan_dis(k, i) * C_NA(k, i - 1) - Knn_dis(k, i) * C_NII_prin(k, i
- 1))
    C_NI_prin(k, i) = C_NI_prin(k, i - 1) + dT(k, i) * (Knn_dis(k, i) *
C_NII_prin(k, i - 1))
    C_OD_prin(k, i) = C_OD_prin(k, i - 1) + dT(k, i) * (K2_dis(k, i) * (Cs(k, i) -
C_OD_prin(k, i - 1)) - (Kd_dis(k, i) * DBO(k, i)) - (3.2 * (1 - Exp(-0.6 *
C_OD_prin(k, i - 1))) * Kan_dis(k, i) * C_NA_prin(k, i - 1)) - (Sd_dis(k, i) / h(k,
i)))
    End If
Next
```

```
'SAÍDA DOS RESULTADOS
'--------------------
cont = 0
For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(4 + i, 51 + cont) = C_OD(k, i)
    Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(4 + i, 54 + cont) = C_NO(k, i)
    Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(4 + i, 55 + cont) = C_NA(k, i)
    Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(4 + i, 56 + cont) = C_NI(k, i)
    Next
    cont = cont + 29
Next

For k = 1 To 1
    For i = 1 To nc(k)
    Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(4 + i, 22) = C_OD_prin(k, i)
    Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(4 + i, 25) = C_NO_prin(k, i)
    Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(4 + i, 26) = C_NA_prin(k, i)
    Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(4 + i, 27) = C_NI_prin(k, i)
    Next
Next

DoEvents
'MsgBox ("CÁLCULO FINALIZADO!")
Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(1, 1).Activate
End Sub
```

7 CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DOS CONTAMINANTES ARBITRÁTIOS

```
Sub CONCENTRAÇÃO_CONTAMINANTES()

'==================================================================================
'============ CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO PARA CONTAMINANTES ARBITRÁRIOS ==============
'==================================================================================

'DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS
'------------------------

'DADOS A MONTANTE DO RIO PRINCIPAL E AFLUENTES
Dim Qmon(20), CAmon(20) As Double

'LANÇAMENTOS
Dim Qep(20, 10000), Lep(20, 10000), Qed(20, 10000), Ldi(20, 10000), Ldf(20, 10000),
Nlançp(20), Nlançd(20) As Double
```

```
Dim CAep(20, 10000), CAed(20, 10000) As Double 'parâmetros dos lançamentos pontuais
Dim CAep_no(20, 10000), CAed_no(20, 10000) As Double 'parâmetros dos lançamentos
pontuais no nó
Dim Qep_no(20, 10000), Qed_no(20, 10000), IDE(20, 10000), Ip(20, 10000) As Double

'CONCENTRAÇÕES
Dim C(20, 10000), C_prin(20, 10000) As Double 'afluentes
Dim Cs(20, 10000) As Double
Dim ipivô(20), CAaflu(20, 10000), Laflu(20) As Double

'HIDRÁULICA E DADOS GEOMÉTRICOS
Dim x(20, 10000), y(20, 10000), z(20, 10000), h(20, 10000), L(20, 10000), V(20,
10000), Q(20, 10000) As Double
Dim nc(20), dL(20), dT(20, 10000) As Double

'COEFICIENTES
Dim T_dis(20, 10000), Kd_dis(20, 10000), Vs_dis(20, 10000), Lrd_dis(20, 10000) As
Double
Dim K2_dis(20, 10000), Sd_dis(20, 10000), Vsno_dis(20, 10000), Koa_dis(20, 10000),
Kan_dis(20, 10000) As Double
Dim Knn_dis(20, 10000), Samon_dis(20, 10000), Vsp_dis(20, 10000), Kp_dis(20, 10000)
As Double
Dim Spinor_dis(20, 10000), Kb_dis(20, 10000), Kmetal_dis(20, 10000), Smetal_dis(20,
10000) As Double
Dim Ksca_dis(20, 10000), Kdca_dis(20, 10000) As Double

'NOVAS MATRIZES PARA ENTRADA DE AFLUENTES NO CANAL PRINCIPAL:
Dim Caflu(1, 10000), Qaflu(1, 10000) As Double

'IDENTIFICAÇÃO DA QUANTIDADE DE CANAIS:
ind = 1
coluna = 6
Ncanais = 0
While Sheets("TOPOLOGIA").Cells(6, ind + 2) <> ""
    Ncanais = Ncanais + 1
    ind = ind + coluna
Wend

'LEITURA DO NÚMERO DE CÉLULAS
coluna2 = 11
cont = 0
For k = 1 To Ncanais
    nc(k) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(5, 3 + cont)
    dL(k) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(7, 3 + cont)
    cont = cont + coluna2
Next
```

```
'LEITURA DOS DADOS GEOMÉTRICOS DO RIO

ind = 0
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    x(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 4 + ind)
    y(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 5 + ind)
    z(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 6 + ind)
    L(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 7 + ind)
    Next
    ind = ind + 11
Next

'LEITURA DOS DADOS HIDRÁULICOS

col = 0
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    Q(k, i) = Sheets("HIDRÁULICA").Cells(4 + i, 4 + col)
    V(k, i) = Sheets("HIDRÁULICA").Cells(4 + i, 9 + col)
    h(k, i) = Sheets("HIDRÁULICA").Cells(4 + i, 8 + col)
    Next
    col = col + 11
Next

'LEITURA DOS COEFICIENTES E TEMPERATURAS

cont = 0
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
        T_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 4 + cont)
        K2_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 5 + cont)
        Sd_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 6 + cont)
        Kd_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 7 + cont)
        Vs_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 8 + cont)
        Lrd_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 9 + cont)
        Ksca_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 10 + cont)
        Kdca_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 11 + cont)
        Vsno_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 12 + cont)
        Koa_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 13 + cont)
        Kan_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 14 + cont)
        Knn_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 15 + cont)
        Samon_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 16 + cont)
        Vsp_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 17 + cont)
        Kp_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 18 + cont)
```

```
        Kb_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 19 + cont)
        Kmetal_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 20 + cont)
        Smetal_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 21 + cont)
    Next
    cont = cont + 29
Next

'CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES AO LONGO DO RIO
'=============================================
'~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~

'LEITURA DOS DADOS A MONTANTE DOS LANÇAMENTOS
coluna = 1
For k = 1 To Ncanais
    Qmon(k) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(6, 3 + coluna)
    CAmon(k) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(6, 6 + coluna)
    coluna = coluna + 13
Next

'LEITURA DAS CONCENTRAÇÕES DOS LANÇAMENTOS PONTUAIS

ind = 1
For k = 1 To Ncanais
Nlançp(k) = 0
i = 0
    While Sheets("C PONTUAIS").Cells(9 + i, ind + 2) <> ""
        Nlançp(k) = Nlançp(k) + 1
        i = i + 1
    Wend
    ind = ind + 14
Next

coluna = 1
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To Nlançp(k)
    Lep(k, i) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(8 + i, 3 + coluna)
    Qep(k, i) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(8 + i, 4 + coluna)
    CAep(k, i) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(8 + i, 7 + coluna)
    Next
coluna = coluna + 13
Next

'LEITURA DAS CONCENTRAÇÕES DOS LANÇAMENTOS DIFUSOS

ind = 1
For k = 1 To Ncanais
```

```
Nlançd(k) = 0
i = 0
    While Sheets("C DIFUSAS").Cells(5 + i, ind + 3) <> ""
        Nlançd(k) = Nlançd(k) + 1
        i = i + 1
    Wend
    ind = ind + 14
Next

coluna = 1
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To Nlançd(k)
    Ldi(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 3 + coluna)
    Ldf(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 4 + coluna)
    Qed(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 5 + coluna)
    CAed(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 8 + coluna)
    'i = i + 1
    Next
    coluna = coluna + 14
Next

'INTERVALO DE TEMPO
'------------------

For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    dT(k, i) = dL(k) / (V(k, i) * 86400)
    Next
Next

'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IP) PARA LANÇAMENTO PONTUAL DE POLUENTES (AFLUENTES)
'-------------------------------------------------------------------------------

'inicializando

For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
        Ip(k, i) = 0
        Qep_no(k, i) = 0
        CAep_no(k, i) = 0
    Next
Next

'verificando entradas pontuais
For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
```

```
        For j = 1 To Nlançp(k)
        If (L(k, i) >= Lep(k, j) And (L(k, i) - Lep(k, j)) < dL(k)) Then
        Ip(k, i) = 1
        Qep_no(k, i) = Qep(k, j)
        CAep_no(k, i) = CAep(k, j)
        End If
        Next j
    Next i
Next k

'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IDE) PARA LANÇAMENTO DIFUSO DE POLUENTES (AFLUENTES)
'-------------------------------------------------------------------------------

'inicializando
For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
        IDE(k, i) = 0
        Qed_no(k, i) = 0
        CAed_no(k, i) = 0
    Next
Next

'verificando entradas DIFUSAS
For k = 2 To Ncanais
    idif = 1
    For i = 1 To nc(k)
        If (L(k, i) >= Ldi(k, idif) And L(k, i) <= Ldf(k, idif)) Then
            IDE(k, i) = 1
            Qed_no(k, i) = Qed(k, idif) * dL(k)
            CAed_no(k, i) = CAed(k, idif)
        End If
        If (L(k, i) > Ldf(k, idif)) Then
            idif = idif + 1
        End If
    Next i
Next k

'FORMA GERAL PARA SOLUÇÃO DAS EQUAÇÕES E CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES DEVIDO A
INJEÇÕES NOS AFLUENTES
'-------------------------------------------------------------------------------

For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    If (i = 1 And Ip(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = CAmon(k)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) < 0) Then
```

```
    C(k, i) = CAmon(k)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = (CAmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * CAep_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C(k, i) = (CAmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * CAep_no(k, i) + Qed_no(k, i) *
CAed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = (C(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * CAep_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C(k, i) = (C(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * CAep_no(k, i) + Qed_no(k,
i) * CAed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C(k, i) = (C(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qed_no(k, i) * CAed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = C(k, i - 1) + dT(k, i) * ((Kdca_dis(k, i) / h(k, i)) - (Ksca_dis(k,
i) / h(k, i)) * C(k, i - 1))
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) < 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = C(k, i - 1) + dT(k, i) * ((Kdca_dis(k, i) / h(k, i)) - (Ksca_dis(k,
i) / h(k, i)) * C(k, i - 1))
    End If
    Next
Next

'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IP) PARA LANÇAMENTO PONTUAL DE POLUENTES (RIO
PRINCIPAL)
'-----------------------------------------------------------------------------------

'inicializando
k = 1
For i = 1 To nc(k)
    'entradas pontuais por emissários no rio principal:
    Ip(k, i) = 0
    Qep_no(k, i) = 0
    Qep_no(k, i) = 0
    CAep_no(k, i) = 0
    'entradas pontuais por descargas de afluentes no rio principal:
    Caflu(k, i) = 0
    Qaflu(k, i) = 0
Next

'verificando entradas pontuais por emissários no rio principal:
k = 1
For i = 1 To nc(k)
    For j = 1 To Nlançp(k)
        If (L(k, i) >= Lep(k, j) And (L(k, i) - Lep(k, j)) < dL(k)) Then
            Ip(k, i) = 1
```

```
            Qep_no(k, i) = Qep(k, j)
            CAep_no(k, i) = CAep(k, j)
        End If
    Next j
Next i

'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IDE) PARA LANÇAMENTO PONTUAL DE POLUENTES (RIO
PRINCIPAL)
'-------------------------------------------------------------------------------

'inicializando
k = 1
For i = 1 To nc(k)
    'entradas difusas por emissários no rio principal:
    IDE(k, i) = 0
    Qed_no(k, i) = 0
    CAed_no(k, i) = 0
Next

'verificando entradas difusas por emissários no rio principal:
k = 1
idif = 1
For i = 1 To nc(k)
    If (L(k, i) >= Ldi(k, idif) And (L(k, i) <= Ldf(k, idif))) Then
        IDE(k, i) = 1
        Qed_no(k, i) = Qed(k, idif) * dL(k)
        CAed_no(k, i) = CAed(k, idif)
    End If
    If (L(k, i) > Ldf(k, idif)) Then
        idif = idif + 1
    End If
Next i

'LANÇANDO AS CONTRIBUIÇÕES DOS AFLUENTES NO RIO PRINCIPAL
'-------------------------------------------------------
For k = 2 To Ncanais
distmin = 10000#
    For i = 1 To nc(1)
        dist = Sqr((x(k, nc(k)) - x(1, i)) ^ 2 + (y(k, nc(k)) - y(1, i)) ^ 2)
        If (dist < distmin) Then
            distmin = dist
            ipivô(k) = i
        End If
    Next i
Next k
```

```
For k = 2 To Ncanais
For i = 1 To nc(1)
    If (i = ipivô(k)) Then
        Ip(1, i) = 2
        Caflu(1, i) = C(k, nc(k))
        Qaflu(1, i) = Q(k, nc(k))
    End If
Next
Next

'SOLUÇÃO DAS EQUAÇÕES E CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES DEVIDO A INJEÇÕES PONTUAIS NO RIO
PRINCIPAL
'-------------------------------------------------------------------------------------

k = 1
For i = 1 To nc(k)
    If (i = 1 And Ip(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = CAmon(k)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) < 0) Then
    C_prin(k, i) = CAmon(k)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = (CAmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * CAep_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_prin(k, i) = (CAmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * CAep_no(k, i) + Qed_no(k,
i) * CAed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * CAep_no(k, i))
/ Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * CAep_no(k, i) +
Qed_no(k, i) * CAed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qed_no(k, i) * CAed_no(k, i))
/ Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = C_prin(k, i - 1) + dT(k, i) * ((Kdca_dis(k, i) / h(k, i)) -
(Ksca_dis(k, i) / h(k, i)) * C_prin(k, i - 1))
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 2 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qaflu(1, i) * Caflu(1, i) +
Qed_no(k, i) * CAed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 2 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qaflu(1, i) * Caflu(1, i)) /
Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) < 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = C_prin(k, i - 1) + dT(k, i) * ((Kdca_dis(k, i) / h(k, i)) -
(Ksca_dis(k, i) / h(k, i)) * C_prin(k, i - 1))
```

```
    End If
Next

'SAÍDA DOS RESULTADOS
'--------------------
cont = 0
For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(4 + i, 53 + cont) = C(k, i)
    Next
    cont = cont + 29
Next

For k = 1 To 1
    For i = 1 To nc(k)
    Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(4 + i, 24) = C_prin(k, i)
    Next
Next

DoEvents
'MsgBox ("CÁLCULO FINALIZADO!")
Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(1, 1).Activate
End Sub
```

8 CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DO FÓSFORO

```
Sub CONCENTRAÇÃO_FÓSFORO()

'==================================================================================
'=============== CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO PARA FÓSFORO TOTAL ========================
'==================================================================================

'DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS
'------------------------

'DADOS A MONTANTE DO RIO PRINCIPAL E AFLUENTES
Dim Qmon(20), POmon(20) As Double

'LANÇAMENTOS
Dim Qep(20, 10000), Lep(20, 10000), Qed(20, 10000), Ldi(20, 10000), Ldf(20, 10000),
Nlançp(20), Nlançd(20) As Double
Dim POep(20, 10000), POed(20, 10000) As Double 'parâmetros dos lançamentos pontuais
Dim POep_no(20, 10000), POed_no(20, 10000) As Double 'parâmetros dos lançamentos
pontuais no nó
Dim Qep_no(20, 10000), Qed_no(20, 10000), IDE(20, 10000), Ip(20, 10000) As Double
```

```
'CONCENTRAÇÕES
Dim C(20, 10000), C_prin(20, 10000) As Double 'afluentes
Dim Cs(20, 10000) As Double
Dim ipivô(20), POaflu(20, 10000), Laflu(20) As Double

'HIDRÁULICA E DADOS GEOMÉTRICOS
Dim x(20, 10000), y(20, 10000), z(20, 10000), h(20, 10000), L(20, 10000), V(20,
10000), Q(20, 10000) As Double
Dim nc(20), dL(20), dT(20, 10000) As Double

'COEFICIENTES
Dim T_dis(20, 10000), Kd_dis(20, 10000), Ks_dis(20, 10000), Lrd_dis(20, 10000) As
Double
Dim K2_dis(20, 10000), Sd_dis(20, 10000), Ksno_dis(20, 10000), Koa_dis(20, 10000),
Kan_dis(20, 10000) As Double
Dim Knn_dis(20, 10000), Samon_dis(20, 10000), Ksp_dis(20, 10000), Kp_dis(20, 10000)
As Double
Dim Spinor_dis(20, 10000), Kb_dis(20, 10000), Kmetal_dis(20, 10000), Smetal_dis(20,
10000) As Double
Dim Ksca_dis(20, 10000), Kdca_dis(20, 10000) As Double

'NOVAS MATRIZES PARA ENTRADA DE AFLUENTES NO CANAL PRINCIPAL:
Dim Caflu(1, 10000), Qaflu(1, 10000) As Double

'IDENTIFICAÇÃO DA QUANTIDADE DE CANAIS:
ind = 1
coluna = 6
Ncanais = 0
While Sheets("TOPOLOGIA").Cells(6, ind + 2) <> ""
    Ncanais = Ncanais + 1
    ind = ind + coluna
Wend

'LEITURA DO NÚMERO DE CÉLULAS
coluna2 = 11
cont = 0
For k = 1 To Ncanais
    nc(k) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(5, 3 + cont)
    dL(k) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(7, 3 + cont)
    cont = cont + coluna2
Next

'LEITURA DOS DADOS GEOMÉTRICOS DO RIO

ind = 0
```

```
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    x(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 4 + ind)
    y(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 5 + ind)
    z(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 6 + ind)
    L(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 7 + ind)
    Next
    ind = ind + 11
Next

'LEITURA DOS DADOS HIDRÁULICOS

col = 0
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    Q(k, i) = Sheets("HIDRÁULICA").Cells(4 + i, 4 + col)
    V(k, i) = Sheets("HIDRÁULICA").Cells(4 + i, 9 + col)
    h(k, i) = Sheets("HIDRÁULICA").Cells(4 + i, 8 + col)
    Next
    col = col + 11
Next

'LEITURA DOS COEFICIENTES E TEMPERATURAS

cont = 0
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
        T_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 4 + cont)
        K2_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 5 + cont)
        Sd_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 6 + cont)
        Kd_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 7 + cont)
        Ks_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 8 + cont)
        Lrd_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 9 + cont)
        Ksca_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 10 + cont)
        Kdca_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 11 + cont)
        Ksno_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 12 + cont)
        Koa_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 13 + cont)
        Kan_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 14 + cont)
        Knn_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 15 + cont)
        Samon_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 16 + cont)
        Ksp_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 17 + cont)
        Kp_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 18 + cont)
        Kb_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 19 + cont)
        Kmetal_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 20 + cont)
        Smetal_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 21 + cont)
    Next
```

```
    cont = cont + 29
Next

'CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES AO LONGO DO RIO
'==========================================
'~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~

'LEITURA DOS DADOS A MONTANTE DOS LANÇAMENTOS
coluna = 1
For k = 1 To Ncanais
    Qmon(k) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(6, 3 + coluna)
    POmon(k) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(6, 10 + coluna)
    coluna = coluna + 13
Next

'LEITURA DAS CONCENTRAÇÕES DOS LANÇAMENTOS PONTUAIS

ind = 1
For k = 1 To Ncanais
Nlançp(k) = 0
i = 0
    While Sheets("C PONTUAIS").Cells(9 + i, ind + 2) <> ""
        Nlançp(k) = Nlançp(k) + 1
        i = i + 1
    Wend
    ind = ind + 14
Next

coluna = 1
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To Nlançp(k)
    Lep(k, i) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(8 + i, 3 + coluna)
    Qep(k, i) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(8 + i, 4 + coluna)
    POep(k, i) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(8 + i, 11 + coluna)
    Next
coluna = coluna + 13
Next

'LEITURA DAS CONCENTRAÇÕES DOS LANÇAMENTOS DIFUSOS

ind = 1
For k = 1 To Ncanais
Nlançd(k) = 0
i = 0
    While Sheets("C DIFUSAS").Cells(5 + i, ind + 3) <> ""
        Nlançd(k) = Nlançd(k) + 1
```

```
        i = i + 1
    Wend
    ind = ind + 14
Next

coluna = 1
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To Nlançd(k)
    Ldi(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 3 + coluna)
    Ldf(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 4 + coluna)
    Qed(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 5 + coluna)
    POed(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 12 + coluna)
    'i = i + 1
    Next
    coluna = coluna + 14
Next

'INTERVALO DE TEMPO
'------------------

For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    dT(k, i) = dL(k) / (V(k, i) * 86400)
    Next
Next

'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IP) PARA LANÇAMENTO PONTUAL DE POLUENTES (AFLUENTES)
'-------------------------------------------------------------------------------

'inicializando

For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
        Ip(k, i) = 0
        Qep_no(k, i) = 0
        POep_no(k, i) = 0
    Next
Next

'verificando entradas pontuais
For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
        For j = 1 To Nlançp(k)
        If (L(k, i) >= Lep(k, j) And (L(k, i) - Lep(k, j)) < dL(k)) Then
        Ip(k, i) = 1
        Qep_no(k, i) = Qep(k, j)
```

```
        POep_no(k, i) = POep(k, j)
        End If
        Next j
    Next i
Next k

'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IDE) PARA LANÇAMENTO DIFUSO DE POLUENTES (AFLUENTES)
'-------------------------------------------------------------------------------

'inicializando
For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
        IDE(k, i) = 0
        Qed_no(k, i) = 0
        POed_no(k, i) = 0
    Next
Next

'verificando entradas DIFUSAS
For k = 2 To Ncanais
    idif = 1
    For i = 1 To nc(k)
        If (L(k, i) >= Ldi(k, idif) And L(k, i) <= Ldf(k, idif)) Then
            IDE(k, i) = 1
            Qed_no(k, i) = Qed(k, idif) * dL(k)
            POed_no(k, i) = POed(k, idif)
        End If
        If (L(k, i) > Ldf(k, idif)) Then
            idif = idif + 1
        End If
    Next i
Next k

'FORMA GERAL PARA SOLUÇÃO DAS EQUAÇÕES E CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES DEVIDO A
INJEÇÕES NOS AFLUENTES
'-------------------------------------------------------------------------------

For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    If (i = 1 And Ip(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = POmon(k)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) < 0) Then
    C(k, i) = POmon(k)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = (POmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * POep_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 1) Then
```

```
    C(k, i) = (POmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * POep_no(k, i) + Qed_no(k, i) *
POed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = (C(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * POep_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C(k, i) = (C(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * POep_no(k, i) + Qed_no(k,
i) * POed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C(k, i) = (C(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qed_no(k, i) * POed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = C(k, i - 1) + dT(k, i) * (-Kp_dis(k, i) * C(k, i - 1) - (Ksp_dis(k,
i) / h(k, i)) * C(k, i - 1))
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) < 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = C(k, i - 1) + dT(k, i) * (-Kp_dis(k, i) * C(k, i - 1) - (Ksp_dis(k,
i) / h(k, i)) * C(k, i - 1))
    End If
    Next
Next

'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IP) PARA LANÇAMENTO PONTUAL DE POLUENTES (RIO
PRINCIPAL)
'-------------------------------------------------------------------------------

'inicializando
k = 1
For i = 1 To nc(k)
    'entradas pontuais por emissários no rio principal:
    Ip(k, i) = 0
    Qep_no(k, i) = 0
    Qep_no(k, i) = 0
    POep_no(k, i) = 0
    'entradas pontuais por descargas de afluentes no rio principal:
    Caflu(k, i) = 0
    Qaflu(k, i) = 0
Next

'verificando entradas pontuais por emissários no rio principal:
k = 1
For i = 1 To nc(k)
    For j = 1 To Nlançp(k)
        If (L(k, i) >= Lep(k, j) And (L(k, i) - Lep(k, j)) < dL(k)) Then
            Ip(k, i) = 1
            Qep_no(k, i) = Qep(k, j)
            POep_no(k, i) = POep(k, j)
        End If
    Next j
```

```
Next i

'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IDE) PARA LANÇAMENTO PONTUAL DE POLUENTES (RIO
PRINCIPAL)
'-------------------------------------------------------------------------------

'inicializando
k = 1
For i = 1 To nc(k)
    'entradas difusas por emissários no rio principal:
    IDE(k, i) = 0
    Qed_no(k, i) = 0
    POed_no(k, i) = 0
Next

'verificando entradas difusas por emissários no rio principal:
k = 1
idif = 1
For i = 1 To nc(k)
    If (L(k, i) >= Ldi(k, idif) And (L(k, i) <= Ldf(k, idif))) Then
        IDE(k, i) = 1
        Qed_no(k, i) = Qed(k, idif) * dL(k)
        POed_no(k, i) = POed(k, idif)
    End If
    If (L(k, i) > Ldf(k, idif)) Then
        idif = idif + 1
    End If
Next i

'LANÇANDO AS CONTRIBUIÇÕES DOS AFLUENTES NO RIO PRINCIPAL
'-------------------------------------------------------
For k = 2 To Ncanais
distmin = 10000#
    For i = 1 To nc(1)
        dist = Sqr((x(k, nc(k)) - x(1, i)) ^ 2 + (y(k, nc(k)) - y(1, i)) ^ 2)
        If (dist < distmin) Then
            distmin = dist
            ipivô(k) = i
        End If
    Next i
Next k

For k = 2 To Ncanais
For i = 1 To nc(1)
    If (i = ipivô(k)) Then
        Ip(1, i) = 2
```

```
        Caflu(1, i) = C(k, nc(k))
        Qaflu(1, i) = Q(k, nc(k))
    End If
Next
Next

'SOLUÇÃO DAS EQUAÇÕES E CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES DEVIDO A INJEÇÕES PONTUAIS NO RIO
PRINCIPAL
'-------------------------------------------------------------------------------

k = 1
For i = 1 To nc(k)
    If (i = 1 And Ip(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = POmon(k)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) < 0) Then
    C_prin(k, i) = POmon(k)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = (POmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * POep_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_prin(k, i) = (POmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * POep_no(k, i) + Qed_no(k,
i) * POed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * POep_no(k, i))
/ Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * POep_no(k, i) +
Qed_no(k, i) * POed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qed_no(k, i) * POed_no(k, i))
/ Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = C_prin(k, i - 1) + dT(k, i) * (-Kp_dis(k, i) * C_prin(k, i - 1)
- (Ksp_dis(k, i) / h(k, i)) * C_prin(k, i - 1))
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 2 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qaflu(1, i) * Caflu(1, i) +
Qed_no(k, i) * POed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 2 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qaflu(1, i) * Caflu(1, i)) /
Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) < 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = C_prin(k, i - 1) + dT(k, i) * (-Kp_dis(k, i) * C_prin(k, i - 1)
- (Ksp_dis(k, i) / h(k, i)) * C_prin(k, i - 1))
    End If
Next

'SAÍDA DOS RESULTADOS
```

```
'--------------------
cont = 0
For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(4 + i, 57 + cont) = C(k, i)
    Next
    cont = cont + 29
Next

For k = 1 To 1
    For i = 1 To nc(k)
    Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(4 + i, 28) = C_prin(k, i)
    Next
Next

DoEvents
'MsgBox ("CÁLCULO FINALIZADO!")
Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(1, 1).Activate
End Sub
```

9 CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DE E-COLI

```
Sub CONCENTRAÇÃO_ECOLI()

'==================================================================================
'==================== CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO PARA E-COLI ========================
'==================================================================================

'DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS
'------------------------

'DADOS A MONTANTE DO RIO PRINCIPAL E AFLUENTES
Dim Qmon(20), ECmon(20) As Double

'LANÇAMENTOS
Dim Qep(20, 10000), Lep(20, 10000), Qed(20, 10000), Ldi(20, 10000), Ldf(20, 10000),
Nlançp(20), Nlançd(20) As Double
Dim ECep(20, 10000), ECed(20, 10000) As Double 'parâmetros dos lançamentos pontuais
Dim ECep_no(20, 10000), ECed_no(20, 10000) As Double 'parâmetros dos lançamentos
pontuais no nó
Dim Qep_no(20, 10000), Qed_no(20, 10000), IDE(20, 10000), Ip(20, 10000) As Double

'CONCENTRAÇÕES
Dim C(20, 10000), C_prin(20, 10000) As Double 'afluentes
Dim ipivô(20), CAaflu(20, 10000), Laflu(20) As Double
```

```
'HIDRÁULICA E DADOS GEOMÉTRICOS
Dim x(20, 10000), y(20, 10000), z(20, 10000), h(20, 10000), L(20, 10000), V(20,
10000), Q(20, 10000) As Double
Dim nc(20), dL(20), dT(20, 10000) As Double

'COEFICIENTES
Dim T_dis(20, 10000), Kd_dis(20, 10000), Vs_dis(20, 10000), Lrd_dis(20, 10000) As
Double
Dim K2_dis(20, 10000), Sd_dis(20, 10000), Vsno_dis(20, 10000), Koa_dis(20, 10000),
Kan_dis(20, 10000) As Double
Dim Knn_dis(20, 10000), Samon_dis(20, 10000), Vsp_dis(20, 10000), Kp_dis(20, 10000)
As Double
Dim Spinor_dis(20, 10000), Kb_dis(20, 10000), Kmetal_dis(20, 10000), Smetal_dis(20,
10000) As Double
Dim Vsca_dis(20, 10000), Kdca_dis(20, 10000) As Double

'NOVAS MATRIZES PARA ENTRADA DE AFLUENTES NO CANAL PRINCIPAL:
Dim Caflu(1, 10000), Qaflu(1, 10000) As Double

'IDENTIFICAÇÃO DA QUANTIDADE DE CANAIS:
ind = 1
coluna = 6
Ncanais = 0
While Sheets("TOPOLOGIA").Cells(6, ind + 2) <> ""
    Ncanais = Ncanais + 1
    ind = ind + coluna
Wend

'LEITURA DO NÚMERO DE CÉLULAS
coluna2 = 11
cont = 0
For k = 1 To Ncanais
    nc(k) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(5, 3 + cont)
    dL(k) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(7, 3 + cont)
    cont = cont + coluna2
Next

'LEITURA DOS DADOS GEOMÉTRICOS DO RIO

ind = 0
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    x(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 4 + ind)
    y(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 5 + ind)
    z(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 6 + ind)
    L(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 7 + ind)
```

```
    Next
    ind = ind + 11
Next

'LEITURA DOS DADOS HIDRÁULICOS

col = 0
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    Q(k, i) = Sheets("HIDRÁULICA").Cells(4 + i, 8 + col)
    V(k, i) = Sheets("HIDRÁULICA").Cells(4 + i, 7 + col)
    h(k, i) = Sheets("HIDRÁULICA").Cells(4 + i, 6 + col)
    Next
    col = col + 11
Next

'LEITURA DOS COEFICIENTES E TEMPERATURAS

cont = 0
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
        T_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 4 + cont)
        K2_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 5 + cont)
        Sd_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 6 + cont)
        Kd_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 7 + cont)
        Vs_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 8 + cont)
        Lrd_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 9 + cont)
        Vsca_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 10 + cont)
        Kdca_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 11 + cont)
        Vsno_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 12 + cont)
        Koa_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 13 + cont)
        Kan_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 14 + cont)
        Knn_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 15 + cont)
        Samon_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 16 + cont)
        Vsp_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 17 + cont)
        Kp_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 18 + cont)
        Kb_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 19 + cont)
        Kmetal_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 20 + cont)
        Smetal_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 21 + cont)
    Next
    cont = cont + 29
Next

'CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES AO LONGO DO RIO
'==========================================
'~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~
```

```
'LEITURA DOS DADOS A MONTANTE DOS LANÇAMENTOS
coluna = 1
For k = 1 To Ncanais
    Qmon(k) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(6, 3 + coluna)
    ECmon(k) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(6, 11 + coluna)
    coluna = coluna + 13
Next

'LEITURA DAS CONCENTRAÇÕES DOS LANÇAMENTOS PONTUAIS

ind = 1
For k = 1 To Ncanais
Nlançp(k) = 0
i = 0
    While Sheets("C PONTUAIS").Cells(9 + i, ind + 2) <> ""
        Nlançp(k) = Nlançp(k) + 1
        i = i + 1
    Wend
    ind = ind + 14
Next

coluna = 1
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To Nlançp(k)
    Lep(k, i) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(8 + i, 3 + coluna)
    Qep(k, i) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(8 + i, 4 + coluna)
    ECep(k, i) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(8 + i, 12 + coluna)
    Next
coluna = coluna + 13
Next

'LEITURA DAS CONCENTRAÇÕES DOS LANÇAMENTOS DIFUSOS

ind = 1
For k = 1 To Ncanais
Nlançd(k) = 0
i = 0
    While Sheets("C DIFUSAS").Cells(5 + i, ind + 3) <> ""
        Nlançd(k) = Nlançd(k) + 1
        i = i + 1
    Wend
    ind = ind + 14
Next

coluna = 1
```

```
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To Nlançd(k)
    Ldi(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 3 + coluna)
    Ldf(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 4 + coluna)
    Qed(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 5 + coluna)
    ECed(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 13 + coluna)
    'i = i + 1
    Next
    coluna = coluna + 14
Next

'INTERVALO DE TEMPO
'------------------

For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    dT(k, i) = dL(k) / (V(k, i) * 86400)
    Next
Next

'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IP) PARA LANÇAMENTO PONTUAL DE POLUENTES (AFLUENTES)
'-------------------------------------------------------------------------------------

'inicializando

For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
        Ip(k, i) = 0
        Qep_no(k, i) = 0
        ECep_no(k, i) = 0
    Next
Next

'verificando entradas pontuais
For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
        For j = 1 To Nlançp(k)
        If (L(k, i) >= Lep(k, j) And (L(k, i) - Lep(k, j)) < dL(k)) Then
        Ip(k, i) = 1
        Qep_no(k, i) = Qep(k, j)
        ECep_no(k, i) = ECep(k, j)
        End If
        Next j
    Next i
Next k
```

```
'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IDE) PARA LANÇAMENTO DIFUSO DE POLUENTES (AFLUENTES)
'-------------------------------------------------------------------------------------

'inicializando
For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
        IDE(k, i) = 0
        Qed_no(k, i) = 0
        ECed_no(k, i) = 0
    Next
Next

'verificando entradas DIFUSAS
For k = 2 To Ncanais
    idif = 1
    For i = 1 To nc(k)
        If (L(k, i) >= Ldi(k, idif) And L(k, i) <= Ldf(k, idif)) Then
            IDE(k, i) = 1
            Qed_no(k, i) = Qed(k, idif) * dL(k)
            ECed_no(k, i) = ECed(k, idif)
        End If
        If (L(k, i) > Ldf(k, idif)) Then
            idif = idif + 1
        End If
    Next i
Next k

'FORMA GERAL PARA SOLUÇÃO DAS EQUAÇÕES E CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES DEVIDO A
INJEÇÕES NOS AFLUENTES
'-------------------------------------------------------------------------------------

For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    If (i = 1 And Ip(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = ECmon(k)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) < 0) Then
    C(k, i) = ECmon(k)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = (ECmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * ECep_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C(k, i) = (ECmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * ECep_no(k, i) + Qed_no(k, i) *
ECed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = (C(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * ECep_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 1) Then
```

```
    C(k, i) = (C(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * ECep_no(k, i) + Qed_no(k,
i) * ECed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C(k, i) = (C(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qed_no(k, i) * ECed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = C(k, i - 1) + dT(k, i) * (-Kb_dis(k, i) * C(k, i - 1))
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) < 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = C(k, i - 1) + dT(k, i) * (-Kb_dis(k, i) * C(k, i - 1))
    End If
    Next
Next

'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IP) PARA LANÇAMENTO PONTUAL DE POLUENTES (RIO
PRINCIPAL)
'-------------------------------------------------------------------------------

'inicializando
k = 1
For i = 1 To nc(k)
    'entradas pontuais por emissários no rio principal:
    Ip(k, i) = 0
    Qep_no(k, i) = 0
    Qep_no(k, i) = 0
    ECep_no(k, i) = 0
    'entradas pontuais por descargas de afluentes no rio principal:
    Caflu(k, i) = 0
    Qaflu(k, i) = 0
Next

'verificando entradas pontuais por emissários no rio principal:
k = 1
For i = 1 To nc(k)
    For j = 1 To Nlançp(k)
        If (L(k, i) >= Lep(k, j) And (L(k, i) - Lep(k, j)) < dL(k)) Then
            Ip(k, i) = 1
            Qep_no(k, i) = Qep(k, j)
            ECep_no(k, i) = ECep(k, j)
        End If
    Next j
Next i

'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IDE) PARA LANÇAMENTO PONTUAL DE POLUENTES (RIO
PRINCIPAL)
'-------------------------------------------------------------------------------

'inicializando
```

```
k = 1
For i = 1 To nc(k)
    'entradas difusas por emissários no rio principal:
    IDE(k, i) = 0
    Qed_no(k, i) = 0
    ECed_no(k, i) = 0
Next

'verificando entradas difusas por emissários no rio principal:
k = 1
idif = 1
For i = 1 To nc(k)
    If (L(k, i) >= Ldi(k, idif) And (L(k, i) <= Ldf(k, idif))) Then
        IDE(k, i) = 1
        Qed_no(k, i) = Qed(k, idif) * dL(k)
        ECed_no(k, i) = ECed(k, idif)
    End If
    If (L(k, i) > Ldf(k, idif)) Then
        idif = idif + 1
    End If
Next i

'LANÇANDO AS CONTRIBUIÇÕES DOS AFLUENTES NO RIO PRINCIPAL
'-------------------------------------------------------
For k = 2 To Ncanais
distmin = 10000#
    For i = 1 To nc(1)
        dist = Sqr((x(k, nc(k)) - x(1, i)) ^ 2 + (y(k, nc(k)) - y(1, i)) ^ 2)
        If (dist < distmin) Then
            distmin = dist
            ipivô(k) = i
        End If
    Next i
Next k

For k = 2 To Ncanais
For i = 1 To nc(1)
    If (i = ipivô(k)) Then
        Ip(1, i) = 2
        Caflu(1, i) = C(k, nc(k))
        Qaflu(1, i) = Q(k, nc(k))
    End If
Next
Next
```

```
'SOLUÇÃO DAS EQUAÇÕES E CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES DEVIDO A INJEÇÕES PONTUAIS NO RIO
PRINCIPAL
'-----------------------------------------------------------------------------------

k = 1
For i = 1 To nc(k)
    If (i = 1 And Ip(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = ECmon(k)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) < 0) Then
    C_prin(k, i) = ECmon(k)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = (ECmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * ECep_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_prin(k, i) = (ECmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * ECep_no(k, i) + Qed_no(k,
i) * ECed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * ECep_no(k, i))
/ Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * ECep_no(k, i) +
Qed_no(k, i) * ECed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qed_no(k, i) * ECed_no(k, i))
/ Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = C_prin(k, i - 1) + dT(k, i) * (-Kb_dis(k, i) * C_prin(k, i - 1))
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 2 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qaflu(1, i) * Caflu(1, i) +
Qed_no(k, i) * ECed_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 2 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qaflu(1, i) * Caflu(1, i)) /
Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) < 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = C_prin(k, i - 1) + dT(k, i) * (-Kb_dis(k, i) * C_prin(k, i - 1))
    End If
Next

'SAÍDA DOS RESULTADOS
'--------------------
cont = 0
For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(4 + i, 57 + cont) = C(k, i)
    Next
    cont = cont + 29
Next
```

```
For k = 1 To 1
    For i = 1 To nc(k)
    Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(4 + i, 29) = C_prin(k, i)
    Next
Next

DoEvents
'MsgBox ("CÁLCULO FINALIZADO!")
Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(1, 1).Activate
End Sub
```

10 CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DOS METAIS

```
Sub CONCENTRAÇÃO_METAIS()

'==================================================================================
'====================== CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO PARA METAIS =======================
'==================================================================================

'DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS
'------------------------

'DADOS A MONTANTE DO RIO PRINCIPAL E AFLUENTES
Dim Qmon(20), Mmon(20) As Double

'LANÇAMENTOS
Dim Qep(20, 10000), Lep(20, 10000), Qed(20, 10000), Ldi(20, 10000), Ldf(20, 10000),
Nlançp(20), Nlançd(20) As Double
Dim Mep(20, 10000), Med(20, 10000) As Double 'parâmetros dos lançamentos pontuais
Dim Mep_no(20, 10000), Med_no(20, 10000) As Double 'parâmetros dos lançamentos
pontuais no nó
Dim Qep_no(20, 10000), Qed_no(20, 10000), IDE(20, 10000), Ip(20, 10000) As Double

'CONCENTRAÇÕES
Dim C(20, 10000), C_prin(20, 10000) As Double 'afluentes
Dim ipivô(20), CAaflu(20, 10000), Laflu(20) As Double

'HIDRÁULICA E DADOS GEOMÉTRICOS
Dim x(20, 10000), y(20, 10000), z(20, 10000), h(20, 10000), L(20, 10000), V(20,
10000), Q(20, 10000) As Double
Dim nc(20), dL(20), dT(20, 10000) As Double

'COEFICIENTES
```

```
Dim T_dis(20, 10000), Kd_dis(20, 10000), Vs_dis(20, 10000), Lrd_dis(20, 10000) As
Double
Dim K2_dis(20, 10000), Sd_dis(20, 10000), Vsno_dis(20, 10000), Koa_dis(20, 10000),
Kan_dis(20, 10000) As Double
Dim Knn_dis(20, 10000), Samon_dis(20, 10000), Vsp_dis(20, 10000), Kp_dis(20, 10000)
As Double
Dim Spinor_dis(20, 10000), Kb_dis(20, 10000), Kmetal_dis(20, 10000), Smetal_dis(20,
10000) As Double
Dim Vsca_dis(20, 10000), Kdca_dis(20, 10000) As Double

'NOVAS MATRIZES PARA ENTRADA DE AFLUENTES NO CANAL PRINCIPAL:
Dim Caflu(1, 10000), Qaflu(1, 10000) As Double

'IDENTIFICAÇÃO DA QUANTIDADE DE CANAIS:
ind = 1
coluna = 6
Ncanais = 0
While Sheets("TOPOLOGIA").Cells(6, ind + 2) <> ""
    Ncanais = Ncanais + 1
    ind = ind + coluna
Wend

'LEITURA DO NÚMERO DE CÉLULAS
coluna2 = 11
cont = 0
For k = 1 To Ncanais
    nc(k) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(5, 3 + cont)
    dL(k) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(7, 3 + cont)
    cont = cont + coluna2
Next

'LEITURA DOS DADOS GEOMÉTRICOS DO RIO

ind = 0
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    x(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 4 + ind)
    y(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 5 + ind)
    z(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 6 + ind)
    L(k, i) = Sheets("DISCRETIZAÇÃO").Cells(4 + i, 7 + ind)
    Next
    ind = ind + 11
Next

'LEITURA DOS DADOS HIDRÁULICOS
```

```
col = 0
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    Q(k, i) = Sheets("HIDRÁULICA").Cells(4 + i, 8 + col)
    V(k, i) = Sheets("HIDRÁULICA").Cells(4 + i, 7 + col)
    h(k, i) = Sheets("HIDRÁULICA").Cells(4 + i, 6 + col)
    Next
    col = col + 11
Next

'LEITURA DOS COEFICIENTES E TEMPERATURAS

cont = 0
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
        T_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 4 + cont)
        K2_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 5 + cont)
        Sd_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 6 + cont)
        Kd_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 7 + cont)
        Vs_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 8 + cont)
        Lrd_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 9 + cont)
        Vsca_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 10 + cont)
        Kdca_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 11 + cont)
        Vsno_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 12 + cont)
        Koa_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 13 + cont)
        Kan_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 14 + cont)
        Knn_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 15 + cont)
        Samon_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 16 + cont)
        Vsp_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 17 + cont)
        Kp_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 18 + cont)
        Kb_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 19 + cont)
        Kmetal_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 20 + cont)
        Smetal_dis(k, i) = Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(i + 4, 21 + cont)
    Next
    cont = cont + 29
Next

'CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES AO LONGO DO RIO
'==========================================
'~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~

'LEITURA DOS DADOS A MONTANTE DOS LANÇAMENTOS
coluna = 1
For k = 1 To Ncanais
    Qmon(k) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(6, 3 + coluna)
    Mmon(k) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(6, 12 + coluna)
```

```
    coluna = coluna + 13
Next

'LEITURA DAS CONCENTRAÇÕES DOS LANÇAMENTOS PONTUAIS

ind = 1
For k = 1 To Ncanais
Nlançp(k) = 0
i = 0
    While Sheets("C PONTUAIS").Cells(9 + i, ind + 2) <> ""
        Nlançp(k) = Nlançp(k) + 1
        i = i + 1
    Wend
    ind = ind + 14
Next

coluna = 1
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To Nlançp(k)
    Lep(k, i) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(8 + i, 3 + coluna)
    Qep(k, i) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(8 + i, 4 + coluna)
    Mep(k, i) = Sheets("C PONTUAIS").Cells(8 + i, 13 + coluna)
    Next
coluna = coluna + 13
Next

'LEITURA DAS CONCENTRAÇÕES DOS LANÇAMENTOS DIFUSOS

ind = 1
For k = 1 To Ncanais
Nlançd(k) = 0
i = 0
    While Sheets("C DIFUSAS").Cells(5 + i, ind + 3) <> ""
        Nlançd(k) = Nlançd(k) + 1
        i = i + 1
    Wend
    ind = ind + 14
Next

coluna = 1
For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To Nlançd(k)
    Ldi(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 3 + coluna)
    Ldf(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 4 + coluna)
    Qed(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 5 + coluna)
    Med(k, i) = Sheets("C DIFUSAS").Cells(4 + i, 14 + coluna)
```

```
    'i = i + 1
    Next
    coluna = coluna + 14
Next

'INTERVALO DE TEMPO
'------------------

For k = 1 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    dT(k, i) = dL(k) / (V(k, i) * 86400)
    Next
Next

'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IP) PARA LANÇAMENTO PONTUAL DE POLUENTES (AFLUENTES)
'-------------------------------------------------------------------------------

'inicializando

For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
        Ip(k, i) = 0
        Qep_no(k, i) = 0
        Mep_no(k, i) = 0
    Next
Next

'verificando entradas pontuais
For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
        For j = 1 To Nlançp(k)
        If (L(k, i) >= Lep(k, j) And (L(k, i) - Lep(k, j)) < dL(k)) Then
        Ip(k, i) = 1
        Qep_no(k, i) = Qep(k, j)
        Mep_no(k, i) = Mep(k, j)
        End If
        Next j
    Next i
Next k

'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IDE) PARA LANÇAMENTO DIFUSO DE POLUENTES (AFLUENTES)
'-------------------------------------------------------------------------------

'inicializando
For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
```

```
        IDE(k, i) = 0
        Qed_no(k, i) = 0
        Med_no(k, i) = 0
    Next
Next

'verificando entradas DIFUSAS
For k = 2 To Ncanais
    idif = 1
    For i = 1 To nc(k)
        If (L(k, i) >= Ldi(k, idif) And L(k, i) <= Ldf(k, idif)) Then
            IDE(k, i) = 1
            Qed_no(k, i) = Qed(k, idif) * dL(k)
            Med_no(k, i) = Med(k, idif)
        End If
        If (L(k, i) > Ldf(k, idif)) Then
            idif = idif + 1
        End If
    Next i
Next k

'FORMA GERAL PARA SOLUÇÃO DAS EQUAÇÕES E CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES DEVIDO A
INJEÇÕES NOS AFLUENTES
'-------------------------------------------------------------------------------

For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    If (i = 1 And Ip(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = Mmon(k)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) < 0) Then
    C(k, i) = Mmon(k)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = (Mmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * Mep_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C(k, i) = (Mmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * Mep_no(k, i) + Qed_no(k, i) *
Med_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = (C(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * Mep_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C(k, i) = (C(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * Mep_no(k, i) + Qed_no(k,
i) * Med_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C(k, i) = (C(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qed_no(k, i) * Med_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = C(k, i - 1) + dT(k, i) * (-Kmetal_dis(k, i) * C(k, i - 1) +
(Smetal_dis(k, i) / h(k, i)) * C(k, i - 1))
```

```
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) < 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C(k, i) = C(k, i - 1) + dT(k, i) * (-Kmetal_dis(k, i) * C(k, i - 1) +
(Smetal_dis(k, i) / h(k, i)) * C(k, i - 1))
    End If
    Next
Next

'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IP) PARA LANÇAMENTO PONTUAL DE POLUENTES (RIO
PRINCIPAL)
'-------------------------------------------------------------------------------

'inicializando
k = 1
For i = 1 To nc(k)
    'entradas pontuais por emissários no rio principal:
    Ip(k, i) = 0
    Qep_no(k, i) = 0
    Qep_no(k, i) = 0
    Mep_no(k, i) = 0
    'entradas pontuais por descargas de afluentes no rio principal:
    Caflu(k, i) = 0
    Qaflu(k, i) = 0
Next

'verificando entradas pontuais por emissários no rio principal:
k = 1
For i = 1 To nc(k)
    For j = 1 To Nlançp(k)
        If (L(k, i) >= Lep(k, j) And (L(k, i) - Lep(k, j)) < dL(k)) Then
            Ip(k, i) = 1
            Qep_no(k, i) = Qep(k, j)
            Mep_no(k, i) = Mep(k, j)
        End If
    Next j
Next i

'ABRINDO A FUNÇÃO INDICADORA (IDE) PARA LANÇAMENTO PONTUAL DE POLUENTES (RIO
PRINCIPAL)
'-------------------------------------------------------------------------------

'inicializando
k = 1
For i = 1 To nc(k)
    'entradas difusas por emissários no rio principal:
    IDE(k, i) = 0
    Qed_no(k, i) = 0
```

```
    Med_no(k, i) = 0
Next

'verificando entradas difusas por emissários no rio principal:
k = 1
idif = 1
For i = 1 To nc(k)
    If (L(k, i) >= Ldi(k, idif) And (L(k, i) <= Ldf(k, idif))) Then
        IDE(k, i) = 1
        Qed_no(k, i) = Qed(k, idif) * dL(k)
        Med_no(k, i) = Med(k, idif)
    End If
    If (L(k, i) > Ldf(k, idif)) Then
        idif = idif + 1
    End If
Next i

'LANÇANDO AS CONTRIBUIÇÕES DOS AFLUENTES NO RIO PRINCIPAL
'-------------------------------------------------------
For k = 2 To Ncanais
distmin = 10000#
    For i = 1 To nc(1)
        dist = Sqr((x(k, nc(k)) - x(1, i)) ^ 2 + (y(k, nc(k)) - y(1, i)) ^ 2)
        If (dist < distmin) Then
            distmin = dist
            ipivô(k) = i
        End If
    Next i
Next k

For k = 2 To Ncanais
For i = 1 To nc(1)
    If (i = ipivô(k)) Then
        Ip(1, i) = 2
        Caflu(1, i) = C(k, nc(k))
        Qaflu(1, i) = Q(k, nc(k))
    End If
Next
Next

'SOLUÇÃO DAS EQUAÇÕES E CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES DEVIDO A INJEÇÕES PONTUAIS NO RIO
PRINCIPAL
'-------------------------------------------------------------------------------
----------

k = 1
```

```
For i = 1 To nc(k)
    If (i = 1 And Ip(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = Mmon(k)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) < 0) Then
    C_prin(k, i) = Mmon(k)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = (Mmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * Mep_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i = 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_prin(k, i) = (Mmon(k) * Qmon(k) + Qep_no(k, i) * Mep_no(k, i) + Qed_no(k, i)
* Med_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * Mep_no(k, i)) /
Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) > 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qep_no(k, i) * Mep_no(k, i) +
Qed_no(k, i) * Med_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qed_no(k, i) * Med_no(k, i)) /
Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = C_prin(k, i - 1) + dT(k, i) * (-Kmetal_dis(k, i) * C_prin(k, i -
1) + (Smetal_dis(k, i) / h(k, i)))
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 2 And IDE(k, i) = 1) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qaflu(1, i) * Caflu(1, i) +
Qed_no(k, i) * Med_no(k, i)) / Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 2 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = (C_prin(k, i - 1) * Q(k, i - 1) + Qaflu(1, i) * Caflu(1, i)) /
Q(k, i)
    ElseIf (i > 1 And Ip(k, i) = 1 And Qep_no(k, i) < 0 And IDE(k, i) = 0) Then
    C_prin(k, i) = C_prin(k, i - 1) + dT(k, i) * (-Kmetal_dis(k, i) * C_prin(k, i -
1) + (Smetal_dis(k, i) / h(k, i)))
    End If
Next

'SAÍDA DOS RESULTADOS
'--------------------
cont = 0
For k = 2 To Ncanais
    For i = 1 To nc(k)
    Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(4 + i, 58 + cont) = C(k, i)
    Next
    cont = cont + 29
Next

For k = 1 To 1
    For i = 1 To nc(k)
```

```
    Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(4 + i, 30) = C_prin(k, i)
    Next
Next

DoEvents
'MsgBox ("CÁLCULO FINALIZADO!")
Sheets("CONCENTRAÇÕES").Cells(1, 1).Activate
End Sub
```