

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

FERNANDO ANDRÉ DE CASTRO ALVES VICTAL

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA E PRODUÇÃO DE
SEDIMENTOS EM UMA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA NO PLANALTO DE
POÇOS DE CALDAS - MG**

ALFENAS – MG

2018

FERNANDO ANDRÉ DE CASTRO ALVES VICTAL

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA E PRODUÇÃO DE
SEDIMENTOS EM UMA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA NO PLANALTO DE
POÇOS DE CALDAS - MG**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para
obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais
na Universidade Federal de Alfenas/UNIFAL-MG.
Orientador: Prof. Dr. Diego de Souza Sardinha.

ALFENAS – MG

2018



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Alfenas / UNIFAL-MG
Programa de Pós-graduação – Ciências Ambientais
Rua Gabriel Monteiro da Silva, 714. Alfenas - MG CEP 37130-000
Fone: (35) 3701-9685 (Coordenação) / (35) 3701-9262 (Secretaria)
<http://www.unifal-mg.edu.br/ppgca/>



FERNANDO ANDRÉ DE CASTRO ALVES VICTAL

“Características Físico-Químicas da Água e Produção de Sedimentos em uma Sub-Bacia Hidrográfica no Planalto de Poços de Caldas - MG”

A Banca julgadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de Concentração: Ciências Ambientais.

Aprovado em: 30 de agosto de 2018.

Prof. Dr. Diego de Souza Sardinha
Instituição: UNIFAL - MG

Assinatura: 

Profa. Dra. Leticia Hirata Godoy
Instituição: UNESP

Assinatura: 

Prof. Dr. Ronaldo Luiz Mincato
Instituição: UNIFAL - MG

Assinatura: 

AGRADECIMENTOS

Ao Diego de Souza Sardinha, docente do Instituto de Ciência e Tecnologia – ICT, da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, Campus Poços de Caldas, pela orientação, auxílio técnico e disposição em todas as coletas em campo.

Ao Ronaldo Luiz Mincato, docente do Instituto de Ciências da Natureza – ICN, da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, pelos ensinamentos acadêmicos e supervisão em meu estágio docente.

Ao Nivaldo Eduardo Rizzi, docente do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná – UFPR, pelo conhecimento primário doado em suas aulas durante minha graduação.

À Letícia Hirata Godoy, pesquisadora no Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho – UNESP, Campus Rio Claro, pelas contribuições técnicas nesta pesquisa.

Aos técnicos dos laboratórios multiusuários da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, Campus Poços de Caldas, pelo apoio profissional.

À Denise da Costa Oliveira, do Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais - PPGCA – UNIFAL-MG, pela atenção e disponibilidade durante o período acadêmico.

Ao Augusto César Ferreira Guiçardi, pela amizade firmada e conhecimento trocado.

À Helena Maillet Rocha Lenzi, pela presença motivadora.

Ao Panamã Sítio Agroecológico, onde parte deste estudo foi redigido.

À Francine de Castro Alves Victal, minha irmã, fonte de inspiração.

Aos meus pais, amor maior, pelo apoio e incentivo.

RESUMO

O presente trabalho avaliou as características físicas e químicas da água e a produção de sedimentos na sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras, localizada no Planalto de Poços de Caldas, MG. Três pontos de amostragem foram estabelecidos e realizaram-se nove campanhas de monitoramento das águas superficiais envolvendo os períodos de estiagem, enchente e cheia. As análises foram executadas para vazão, pH, potencial de oxirredução, condutividade elétrica, turbidez, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos e sólidos totais em suspensão. Os resultados indicaram um comportamento hidrológico natural na sub-bacia hidrográfica, ou seja, o transporte de sedimentos aumenta da nascente (montante) para a foz (jusante). Os parâmetros físicos e químicos analisados nas águas superficiais encontraram em sua grande maioria dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 para cursos d'água de Classe II. Os eventos chuvosos representaram cerca de 70% da produção total de sedimentos durante o período monitorado, alterando significativamente a composição das águas superficiais. O transporte diário de sedimentos variou entre 0,1 t. dia⁻¹, com 0,0 mm de precipitação, e, 11,9 t. dia⁻¹, com 212,4 mm de precipitação. A vazão apresentou queda brusca entre o período de cheia e estiagem, remodelando visivelmente aspectos hidrodinâmicos do corpo hídrico, como largura, profundidade e velocidade da água. A contribuição da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras no transporte de sedimentos ao reservatório Bortolan foi estimada em 2700 t. ano⁻¹, sendo que, 27% do transporte compreendeu carga em suspensão, 37% carga dissolvida e 36% carga por arraste no fundo do leito. Quanto aos pontos monitorados, observou-se que o curso superior apresenta uma alta taxa de transporte no fundo do leito devido ao declive ser mais acentuado e a força das águas ser considerável, causando um desgaste na vertical. No curso médio, o declive do terreno não é marcante, e o desgaste faz-se na horizontal, alargando o leito e formando calhas mais abertas. No curso final o curso d'água perde velocidade e a calha torna-se mais larga e plana, depositando os materiais transportados durante o seu percurso.

Palavras-chave: Erosão. Águas Superficiais. Manejo de Bacias Hidrográficas.

ABSTRACT

The present work evaluated the physical and chemical characteristics of water and the production of sediments in the watershed the Amoras Stream, located in the Plateau of Poços de Caldas, MG. The sampling points were established and new campaigns were carried out to monitor surface water, involving periods of drought, flood and flood. The slides were run for flow, pH, oxidation potential, electrical conductivity, turbidity, dissolved silidone, dissolved silicones and total suspended solids. The indicators indicate a natural hydrological behavior in the sub-basin, that is, sediment transport increases from the source to the downstream mouth. Impact of natural and biological resources on surface waters of most of the protection standards established by CONAMA 357/05 for Class II watercourses. The events accounted for about 70% of the total sediment production during the monitored period, significantly altering the quality of the surface waters. The lowest value of daily sedimentation was 0.1 ton day⁻¹ with 0.0 mm precipitation and the highest value was 11.9 ton day⁻¹ with 212.4 mm precipitation. The flow showed a fall between the flood and drought period, remodeling the hydrodynamic visibility of the water body, the extension, the depth and the velocity of the water. The contribution of the Amoras Stream sub-basin in the transport of sediments to the Bortolan reservoir was estimated at 2700 tons per year, 27% of which comprised the material transported in suspension, 37% of dissolved material and 36% sediment by drag on the bottom of the bed. The points the monitoring the attention to slope being higher and the milhari and the swims are streptural over the leoid due to higher vertical more accentuated. In the middle course, the slope of the terrain is not marked, and the term does horizontally, increasing the bed and forming more open gutters. There is no final course on speed and the footprint becomes larger and flat, depositing the materials that move during your journey, and thus increasing the amount of sediment.

Keywords: Erosion. Surface Water. Watershed Management

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVO	13
3	REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1	BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO	14
3.2	PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DA ÁGUA	15
3.3	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	17
4	ÁREA DE ESTUDO	19
4.1	CLIMA E VEGETAÇÃO	19
4.2	GEOLOGIA E PEDOLOGIA	22
4.3	GEOMORFOLOGIA, RELEVO E TOPOGRAFIA	24
4.4	HIDROGRAFIA E USOS DA TERRA	25
4.5	PONTOS DE MONITORAMENTO	27
5	MATERIAIS E MÉTODOS	29
5.1	CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO	29
5.2	MONITORAMENTO DA PRECIPITAÇÃO E VAZÃO	29
5.3	DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS	31
5.4	AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	32
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
6.1	PRECIPITAÇÃO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DAS AMORAS	35
6.2	ASPECTOS FÍSICOS DAS CALHAS FLUVIAIS E VAZÃO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DAS AMORAS	37
6.3	QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DAS AMORAS	38
6.4	CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DAS AMORAS	44
6.5	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DAS AMORAS	47
7	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Imagem da Caldeira Vulcânica de Poços de Caldas com a localização da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras	19
Figura 2.	Precipitação pluviométrica mensal pela média aritmética em Poços de Caldas	20
Figura 3.	Imagem com a delimitação da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras visando à identificação da cobertura vegetal	21
Figura 4.	Mapa geológico da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras com a localização dos pontos de coleta e pluviômetro	22
Figura 5.	Declividade da região da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras	24
Figura 6.	Sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras com a rede de drenagem e pontos de amostragem	25
Figura 7.	Uso do solo na região da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras	26
Figura 8.	Pontos de coleta na sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras. (a) Curso superior, encontrado a 4,24 km de extensão após a nascente do Córrego das Amoras. Possui fragmento de vegetação ciliar em bom estado de preservação. (b) Curso médio, localizado a 5,69 km após a nascente. Possui mata ciliar. (c) Curso final, localizado a 9,4 km de extensão, apresenta pouca vegetação ciliar e predominância de solo exposto	28
Figura 8.	Pluviômetro semi automático modelo Delta OHM 2013-DB	30
Figura 9.	Micromolinete Flow Rate Sensor e Software – Vernier	30
Figura 10.	Medidor portátil U-50 Multiparameter Water Quality Checkers Horiba	31
Figura 11.	(a) Amostrador do tipo USDH-48. (b) Filtros para determinação de sólidos em suspensão	32
Figura 12.	Interfaces do programa WinTSR	33
Figura 13.	Precipitação total (mm) durante o período de estudo	37
Figura 14.	Dados da vazão nos pontos de coleta da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras	38
Figura 15.	Parâmetros de qualidade da água da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras	42
Figura 16.	Concentração de sólidos no curso superior do Córrego das Amoras (P1)	45
Figura 17.	Concentração de sólidos no curso médio do Córrego das Amoras (P2)	45

Figura 18.	Concentração de sólidos no curso final do Córrego das Amoras (P3)	46
Figura 19.	Transporte trimestral (períodos sazonais) de sedimentos no curso superior (P1) da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras	49
Figura 20.	Transporte trimestral (períodos sazonais) de sedimentos no curso médio (P2) da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras	50
Figura 21.	Transporte trimestral (períodos sazonais) de sedimentos no curso inferior (P3) da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras	52
Figura 22.	Transporte anual de sedimentos na sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Precipitação (mm) durante o período de estudo	35
Tabela 2.	Precipitação mensal acumulada durante o período de estudo	36
Tabela 3.	Aspectos físicos das calhas fluviais do Córrego das Amoras	37
Tabela 4.	Parâmetros físicos e químicos das águas superficiais do curso superior (P1)	39
Tabela 5.	Parâmetros físicos e químicos das águas superficiais no curso médio (P2)	40
Tabela 6.	Parâmetros físicos e químicos das águas superficiais no curso final (P3)	41
Tabela 7.	Concentrações de sólidos na sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras	44
Tabela 8.	Média ponderada e média aritmética de sedimentos nos pontos P1, P2 e P3 da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras	47
Tabela 9.	Transporte diário e trimestral (períodos sazonais) de sedimentos no curso superior (P1) da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras	48
Tabela 10.	Transporte diário e trimestral (períodos sazonais) de sedimentos no curso médio (P2) da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras	49
Tabela 11.	Transporte diário e trimestral (períodos sazonais) de sedimentos no curso inferior (P3) da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras	51
Tabela 12.	Transporte anual de sedimentos na sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras	53

LISTA DE SIGLAS E NOMENCLATURAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CE – Condutividade Elétrica

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

C_E – Concentração média ponderada pela vazão do parâmetro

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

C_s – concentração média ponderada de sólidos totais em suspensão

CXd – Cambissolo Háplico Distrófico

°C – Graus Celsius

Dd – Densidade de Drenagem

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

GPS – Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)

KCL – Cloreto de Potássio

K_f – Fator de Forma

km – Quilômetro

km h^{-1} – Quilômetros por hora

km km^{-2} – Quilômetro por Quilômetro quadrado

LED – Light Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz)

LVd – Latossolo Vermelho Distrófico

m – Metros

MDT – Modelo Digital do Terreno

mg – Miligrama

mg L^{-1} – Miligrama por litro

mm – Milímetro

mmol L^{-1} – Milimol por litro

m s^{-1} – Metro por segundo

$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ – Metro cúbico por segundo

mV – Milivolts

NE – Nordeste

NTU - Nephelometric Turbidity Unity (Unidade Nefelométrica de Turbidez)

OD – Oxigênio Dissolvido

ORP – Oxidation Redution Potencial (Potencial de Oxiredução)

pH – Potencial de Hidrogênio

PMPC – Prefeitura Municipal de Poços de Caldas

PVAd – Argissolo Amarelo Distrófico

Q – Vazão

Q_{nm} – Transporte de material sólido anual por arraste

q_{nm} – Transporte de material por arraste não medido

Q_{sm} – Transporte de material sólido anual em suspensão

Q_t – Transporte de material sólido anual

S – Declividade

SW – Sudoeste

STD – Sólidos Totais Dissolvidos

STS – Sólidos Totais em Suspensão

t – Tonelada

t. ano⁻¹ – Tonelada por ano

t. dia⁻¹ – Tonelada por dia

μm – Micrometro

$\mu\text{S cm}^{-1}$ – Microsiemens por centímetro

W – Oeste

% – Porcentagem

1 INTRODUÇÃO

O transporte de sedimentos em bacias hidrográficas são fenômenos naturais provenientes do intemperismo das rochas e da ação erosiva da chuva sobre o solo, que pelo escoamento superficial transportam partículas até os corpos hídricos, afetando diretamente a composição das águas superficiais. O entendimento da interferência do transporte de sedimentos na composição das águas superficiais é de extrema importância para o gerenciamento dos recursos hídricos, pois a água é um solvente natural com capacidade de transportar resíduos e acumular diversos elementos em sua composição, tornando-a passível de degradação e contaminação.

A avaliação do transporte de sedimentos em bacias hidrográficas também é essencial para a determinação do volume de assoreamento em cursos d'água e reservatórios, permitindo estimar a sua vida útil e indicar a viabilidade da ocupação humana (GUSTAVO; JEAN, 2002; DORFMAN, 1993; ROSA; SANTOS; FONSECA, 2017; DAL; CARNEIRO, 2009; MEADE et al., 1979; PEREIRA; SIEGLE; MIRANDA, 2010).

A área de estudo, sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras, foi escolhida em função do entendimento de que pequenas bacias hidrográficas permitem uma melhor compreensão dos parâmetros a serem estudados e suas relações, possibilitando conhecer toda a área e todos os elementos que compõem sua paisagem. A sub-bacia hidrográfica é um afluente do Ribeirão das Antas que deságua na represa Bortolan, um importante reservatório que abastece o Município de Poços de Caldas, MG.

A sub-bacia hidrográfica possui uma área de 29,11 km² e se encontra na província geomorfológica do Planalto de Poços de Caldas. A nascente do Córrego das Amoras se encontra na Zona do Dique Anelar, região com declividade acentuada, propícia aos processos de erosão e transporte de sedimentos. Como não há estudos associados aos processos erosivos nesta região, pretendeu-se com este trabalho avaliar eventos de transporte de sedimentos na sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras, a fim de compreender as condições atuais do impacto dos processos erosivos em suas águas superficiais. Espera-se que este trabalho possa fornecer um diagnóstico dos impactos atuantes sobre o solo e o corpo hídrico desta sub-bacia hidrográfica, além de gerar suporte - teórico e técnico - para o planejamento da mesma.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi avaliar as características físicas e químicas da água e estimar a produção de sedimentos na sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras, a fim de levantar informações que ampliassem o conhecimento dos impactos ambientais em seu meio físico.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo foi realizado um embasamento teórico para a compreensão dos resultados, onde serão abordados os seguintes tópicos: bacia hidrográfica como unidade de estudo, parâmetros físicos e químicos da água e transporte de sedimentos.

3.1 Bacia hidrográfica como unidade de estudo

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM, 1992) sugere-se que a gestão dos recursos hídricos seja baseada nas bacias hidrográficas, devido à necessidade de integrar e considerar todos os aspectos, físicos, sociais e econômicos no estudo do meio. A bacia hidrográfica é considerada um elemento fundamental de análise do ciclo hidrológico, e pode ser definida como uma área limitada por um divisor de águas que a separa das bacias adjacentes, e que serve como uma captadora natural das águas pluviais (MOLDAN E CERNÝ, 1994). Através de uma rede de drenagem, formada por cursos d'água, ela faz convergir os escoamentos para a seção de exutório, seu único ponto de saída.

Segundo Moldan e Cerný (1994), na busca de conhecer e estudar os recursos hídricos e sua interação com os demais recursos em uma região, é necessário encontrar uma unidade básica, a bacia hidrográfica, onde todos os componentes da paisagem (atmosfera, biosfera, litosfera e hidrosfera) interajam. No Brasil, essa declaração tornou-se oficial em janeiro de 1997 através da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, onde foram inseridos princípios e normas para a gestão dos recursos hídricos, adotando as bacias hidrográficas como unidade de estudo (MMA, 2007).

A Teoria do Equilíbrio Dinâmico, proposta por Hack (1960), é o princípio básico mais utilizado em estudos de comportamento hidrológico em bacias hidrográficas. A teoria é baseada inteiramente na concepção sistêmica do meio ambiente, levando em consideração que o ambiente natural encontra-se em estado de equilíbrio, porém, não estático, graças ao mecanismo de funcionamento dos diversos componentes do sistema. Considerada um sistema aberto, a bacia hidrográfica recebe energia através de fatores climáticos e perde energia através do deflúvio, e, mesmo quando perturbada por ações antrópicas, encontra-se em estado de equilíbrio (TEIXEIRA; COSTA; FULLER, 2007).

Compreende-se então que a bacia hidrográfica é o resultado da interação da água e de outros recursos naturais como: geomorfologia, geologia, pedologia, topografia, vegetação e

clima. Com isso, entende-se que um curso d'água, independentemente de seu tamanho, é sempre o resultado da contribuição de determinada área topográfica, que condiz em sua bacia hidrográfica (BRAGA et al., 2002; CONCEIÇÃO; BONOTTO, 2002). Assim, a caracterização da bacia hidrográfica proporciona a compreensão da dinâmica dos componentes sistêmicos, estruturais e funcionais da paisagem e suas respectivas influências sob as ações naturais e antrópicas (CARVALHO, 2008).

O conceito de bacia hidrográfica como unidade de estudo para o planejamento e gestão do meio físico é resultante do conhecimento das relações entre as características físicas de uma bacia de drenagem, e a quantidade e qualidade das águas que chegam ao corpo hídrico. As características de um corpo hídrico refletem as características de sua bacia de drenagem, levando também em consideração todas as qualidades físicas, químicas e biológicas do corpo hídrico (CHRISTOFOLETTI, 1981). Assim, a metodologia de adotar bacias hidrográficas como unidades de planejamento e gestão dos processos de degradação e impacto ambiental é a mais apropriada na avaliação de comportamento de corpos hídricos (ANDREOZZI, 2005).

3.2 Parâmetros físicos e químicos da água

Os parâmetros físicos e químicos da água estão sob a constante ameaça da degradação de substâncias poluentes. As fontes destas substâncias podem ser originárias de esgoto doméstico, efluentes industriais, defensivos agrícolas no solo, água de escoamento superficial, ou ainda água de infiltração, resultante da precipitação atmosférica. Além disso, há outros fatores que alteram essas características, como o clima, a topografia, a cobertura vegetal, a geologia, e ainda o uso, o tipo e o manejo do solo. Como são diversos os elementos que alteram as concentrações destes componentes, estes podem ser retratados em termos das suas características (físicas, químicas e biológicas) e, estas são traduzidas na qualidade da água (IVARSSON; JANSSON, 1994; WARD, 1998).

As características da água abordadas são apenas aquelas discutidas nos resultados deste estudo: potencial de hidrogênio (pH), potencial de oxirredução (ORP), condutividade elétrica (CE), turbidez, oxigênio dissolvido (OD), e sólidos totais dissolvidos (STD).

O potencial de hidrogênio (pH) consiste na concentração dos íons H^+ nas águas, indicando as condições de acidez, neutralidade e basicidade. Este também influi no grau de solubilidade de diversas substâncias e na distribuição das formas livre e ionizada de diversos

compostos químicos, definindo inclusive o potencial de toxicidade de vários elementos. O valor do pH é um número aproximado entre 0 e 14 que indica se uma solução é ácida ($\text{pH} < 7$), neutra ($\text{pH} = 7$), ou básica/alcalina ($\text{pH} > 7$) a 25°C .

A vida aquática depende do pH, onde o recomendável é o pH na faixa de 6 a 9. O baixo pH reflete na corrosividade e agressividade, e o elevado pH facilita as incrustações. Sendo assim, os valores afastados da neutralidade, podem afetar drasticamente a qualidade das águas superficiais (DE BARROS SILVA et al., 2008). O valor do pH pode causar grandes interferências nos ecossistemas aquáticos, além disso, o efeito indireto é muito importante, pelo fato de poder contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos, como por exemplo, os metais pesados. Além disso, as principais fontes na mudança do pH correspondem aos efluentes domésticos e industriais, a oxidação de matéria orgânica e ainda poluentes atmosféricos, como a chuva ácida (ESTEVES, 1998).

O Potencial de Oxirredução ou Oxidação/Redução (ORP – Oxidation Redution Potencial) trata-se basicamente da característica apresentada por elementos químicos em ceder (ser oxidada) ou adquirir (ser reduzida) elétrons. A unidade de medida da ORP é em volts, podendo também ser medido com a utilização de diferentes eletrodos (o mais utilizado é o eletrodo de Ag/AgCl). A redução do oxigênio geralmente ocorre em etapas, em condições estáticas, onde o oxigênio reage de maneira lenta no processo de oxidação (JARDIM, 2016). A molécula de oxigênio é reduzida do estado de oxidação zero até o estado de oxidação -2, formando H_2O ou OH^- (ANDRADE; MARTINS, 2016).

A Condutividade Elétrica (CE) da água é determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions, ou seja, favorecendo a água transmitir a corrente elétrica (VIEIRA; KRZYANOWSKI, 1999). Este parâmetro depende totalmente da quantidade de sais dissolvidos presentes na água (DIAS; MARCOS FILHO, 1995). Segundo a CETESB (1989), a condutividade elétrica é a expressão numérica da capacidade de uma água em conduzir a corrente elétrica, indicando a quantidade de sais existentes e, portanto, representando uma medida indireta da concentração de poluentes.

A turbidez corresponde à interferência da passagem da luz através da água, pelos sólidos em suspensão, que provocam a sua difusão e absorção, dando-a uma aparência turva. Ocorre principalmente por sólidos constituídos de algas, protozoários, bactérias, silte, areia e argila em suspensão, resíduos industriais e domésticos, entre outros (KIRCHMER, 1992). De acordo com a CETESB (1989), o aumento da turbidez reduz a zona eufótica, que é a zona de luz onde a fotossíntese ainda é possível ocorrer. Ou seja, reduz a fotossíntese, não

desenvolvendo naturalmente a biota aquática. Portanto, a turbidez é considerada um parâmetro importante na qualidade da água, influenciando diretamente nos ecossistemas aquáticos (DI BERNARDO, 1993).

O Oxigênio Dissolvido (OD) é um dos principais indicativos a serem monitorados referentes à qualidade de um ambiente aquático, sendo considerado um dos parâmetros mais importantes. A concentração de OD varia em função da temperatura, sendo que as principais fontes de oxigênio na água correspondem à troca com a atmosfera (aeração), à produção pelos organismos produtores primários via fotossíntese e pela própria água (O'CONNOR, 1967). Além disso, o OD também possui fundamental importância para a sobrevivência dos seres aquáticos aeróbios, como por exemplo, para os microrganismos que o utilizam no seu processo respiratório, ou ainda para os peixes, pois é consumido por bactérias durante o processo metabólico de conversão da matéria orgânica em compostos, como água e gás carbônico (SANDERS, 2009).

3.3 Transporte de sedimentos

A concentração de sólidos nos ecossistemas aquáticos lóticos está fortemente relacionada a precipitação pluviométrica, trechos de corredeiras, tipologia da vegetação, pedologia, geologia, uso da terra e causas antrópicas (ESPÍNDOLA et al., 2000). Medidas de sólidos totais são importantes e o seu monitoramento regular serve como um importante recurso, podendo detectar tendências de aumento de intemperismo químico e erosão mecânica na bacia hidrográfica.

Atualmente, a principal causa da degradação das terras são os processos erosivos, que consistem no desprendimento e arraste das partículas de rocha e solo, sendo que, a erosão hídrica é o processo mais importante, causado principalmente pela chuva e pelo escoamento superficial (ZACHAR, 1982). Conforme a vegetação vai sendo removida, a fragilidade aos processos erosivos aumenta, e conseqüentemente, as partículas de rocha e solo são levadas até os cursos d'água, dando início à mecânica do transporte de sedimentos (LELI, 2010).

Os sedimentos podem ser considerados elementos químicos ou fragmentos derivados das rochas, partículas derivadas dos solos ou materiais biológicos provenientes de processos físico-químicos, que são transportados pela água ou pelo vento até os rios. Os resultados da produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica podem ser expressos em metro cúbico (m³) ou em tonelada (t.) (CARVALHO et al., 2000). Assim, o transporte de sedimentos, que

varia em função do material transportado, pode ser classificado de acordo com três tipos: sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão e carga sólida de arrasto (VESTENA, 2008).

Os Sólidos totais dissolvidos (STD) correspondem às impurezas presentes na água, com exceção dos gases dissolvidos. Os STD podem provocar a elevação da cor e da turbidez, ou seja, diminuem a transparência, podendo afetar a biota aquática devido à diminuição da produção fotossintética e, conseqüentemente, do oxigênio dissolvido no meio hídrico, desequilibrando outros parâmetros de qualidade da água (MOREIRA; BRAGA, 2009; KEAREY; BROOKS, 2002; BUZELLI; CUNHA-SANTINO, 2013). Geralmente, o transporte de sedimentos dissolvidos acontece nos corpos d'água com alta turbidez, ocorrendo em maior escala em períodos chuvosos, sobretudo nos eventos extremos de precipitação (CHRISTOFOLLETTI, 2008).

Os sólidos em suspensão são constituídos, geralmente, por silte e argila. O processo de transporte destes materiais particulados ocorre em decorrência do fluxo dos canais de drenagem associados com a turbulência, formando uma mistura homogênea de água e sedimentos (CARVALHO et al., 2000). Segundo Righetto (1998), o transporte de sedimentos em suspensão é determinado pela velocidade do fluxo da drenagem, dessa forma, quanto maior a velocidade do fluxo, maior será a turbulência e, conseqüentemente, a capacidade de transportar sedimentos em suspensão.

A carga sólida de arrasto constitui-se de partículas de sedimento, em geral, de maior granulometria que rolam ou escorregam longitudinalmente, praticamente em contato constante com o leito do rio (CARVALHO, 2008). Geralmente a composição da carga sólida de arrasto compreende os sedimentos na fração argila e seixos rolantes provenientes da erosão mecânica das rochas (SCAPIN, 2005).

São vários os fatores contribuintes para o transporte de sedimentos, dentre os quais, podem ser citados a quantidade e intensidade da precipitação, o tipo de solo e formação geológica, a cobertura e uso do solo, a topografia, a erosão das terras, o escoamento superficial, as características dos sedimentos e as condições morfológicas do canal (CABRAL, 2004). Com isso, evidencia-se a importância de diagnosticar a qualidade e a quantidade dos sedimentos transportados em bacias hidrográficas para estudos de impactos ambientais de uso e preservação dos recursos hídricos (FONTOURA, 2014).

4 ÁREA DE ESTUDO

A sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras situa-se na região Oeste do Município de Poços de Caldas, possui uma área de 29,11 km² (Figura 1) e compreende parte do Complexo Alcalino de Poços de Caldas, uma região de caldeira vulcânica com área de aproximadamente 800 km² (CHAPMAN et al., 1991). A bacia tem como seu exutório a represa Bortolan, importante reservatório de hidroeletricidade e atividades turísticas para o Município de Poços de Caldas (PMPC, 2006).

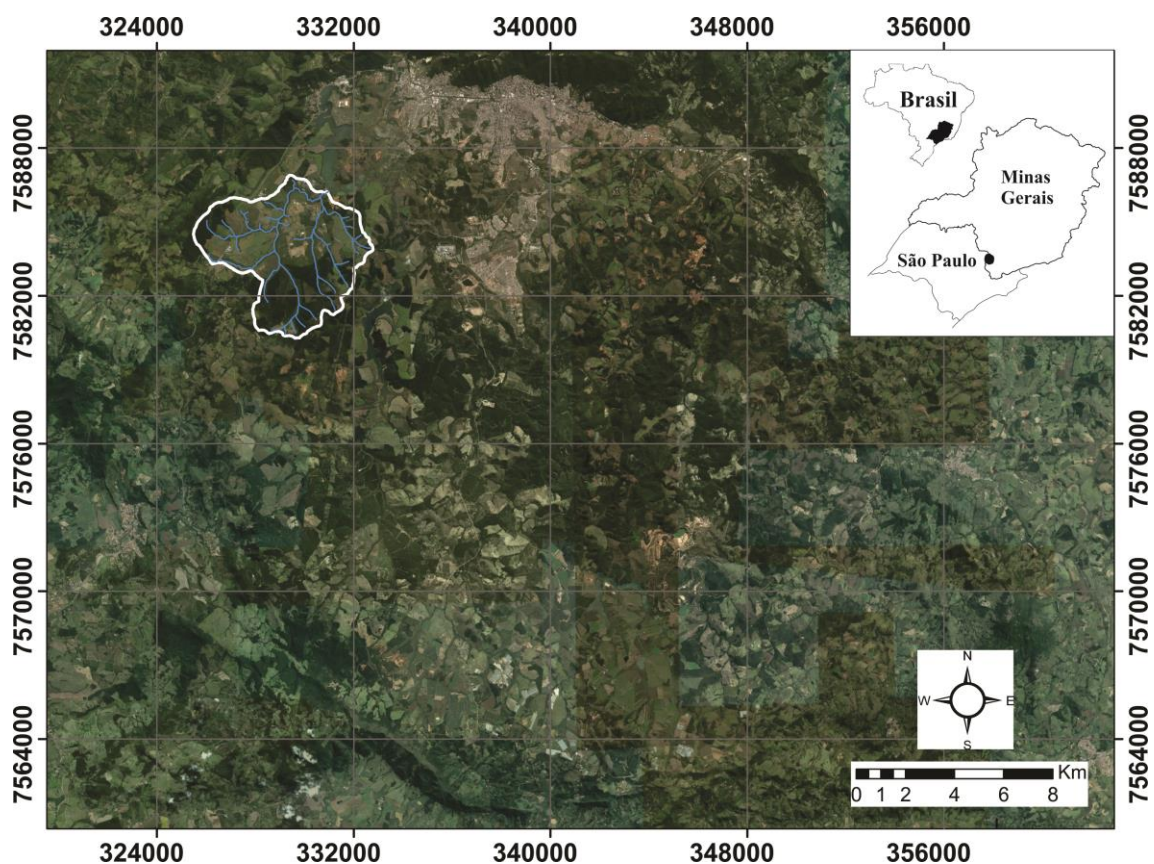


Figura 23. Imagem da Caldeira Vulcânica de Poços de Caldas com a localização da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras. Fonte: Google Earth Pro (2018)

4.1 Clima e vegetação

O clima da região da bacia, segundo a classificação de KÖPPEN (1948), é do tipo Cwb, mesotérmico com inverno seco e verão brando. O clima é marcado pela ocorrência de duas estações distintas, o verão chuvoso, de outubro a março, caracterizado pelas temperaturas e precipitações elevadas, temperatura média de 20,3 °C e precipitação total de

1.430 mm; e o inverno seco, nos meses de abril a setembro, marcado por temperaturas e índices pluviométricos baixos, temperatura média de 15 °C e 315 mm de totais de chuvas (PMPC, 2016). Os ventos são moderados na direção NE e com velocidade de 10 a 15 km h⁻¹. Com a entrada de frentes frias no planalto, a direção dos ventos pode-se inverter, passando a SW - W (PMPC, 2016).

A Figura 2 apresenta a caracterização das séries pluviométricas das estações da Companhia Brasileira de Alumínio, Departamento Municipal de Água e Esgoto de Poços de Caldas, entre 2003 a 2013 (10 anos), e entre 2000 a 2011 (11 anos) da Cooperativa Regional dos Cafeicultores de Poços de Caldas. Os dados possibilitaram a identificação dos meses do ano com maiores índices de precipitação, como em janeiro (média de 423,8 mm, mínima de 160 mm e máxima de 769 mm); e os meses com menores índices de precipitação, como em agosto (média 23,6 mm, mínima 0 mm e máxima 130,5 mm) (SARDINHA et al., 2016).

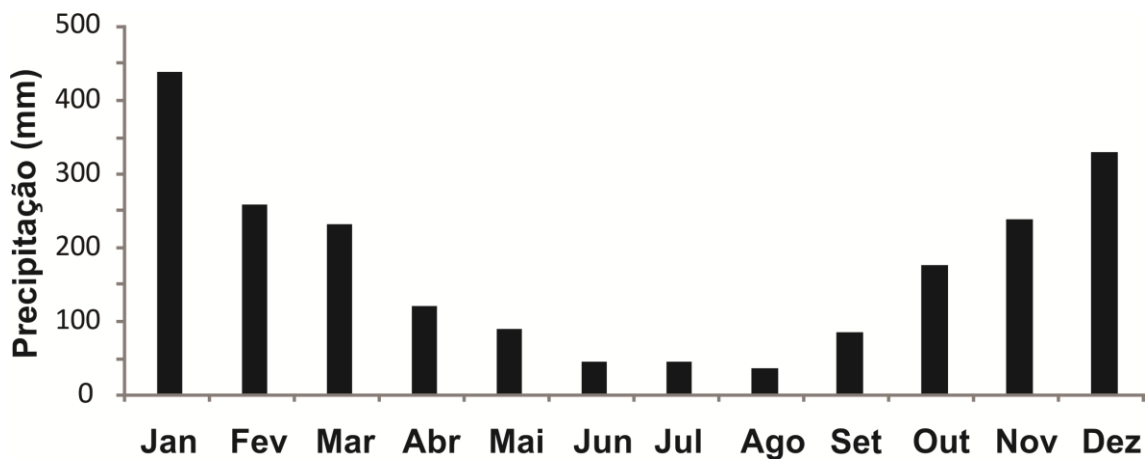


Figura 24. Precipitação pluviométrica mensal pela média aritmética em Poços de Caldas. Modificado de Sardinha et al. (2016).

A cobertura vegetal do Planalto de Poços de Caldas, região da sub-bacia hidrográfica, encontra-se no domínio fitogeográfico da Mata Atlântica e caracteriza-se por contatos transicionais da floresta estacional semidecidual à Floresta Ombrófila Mista (GUIMARÃES et al., 2008; BERG; SANTOS, 2007). Entretanto, o Planalto de Poços de Caldas abriga porções de vegetações arbustivas de campos de altitude, que interagem com as formações florestais dando origem às Florestas Montanas e Alto-Montanas (MORAES; JIMÉNEZ-RUEDA, 2008; COSTA et al., 2011).

Na sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras predominam florestas ou matas de galeria, formando corredores ao longo dos rios e áreas úmidas. Resquícios de floresta

estacional semidecidual e floresta ombrófila mista, também conhecida como Mata Atlântica, são encontradas em pequenos fragmentos nas cabeceiras dos principais rios da bacia, no caso as regiões Sul e Oeste, áreas de relevos mais acidentados com maiores altitudes. Já os campos de altitude estão associados aos Cambissolos, adaptados à falta de nutrientes com árvores baixas e esparsas, sem a formação de dossel. O campo cerrado é o mais expressivo, entremado por plantas lenhosas e raquíticas nas regiões Leste e Central da bacia (Figura 3).

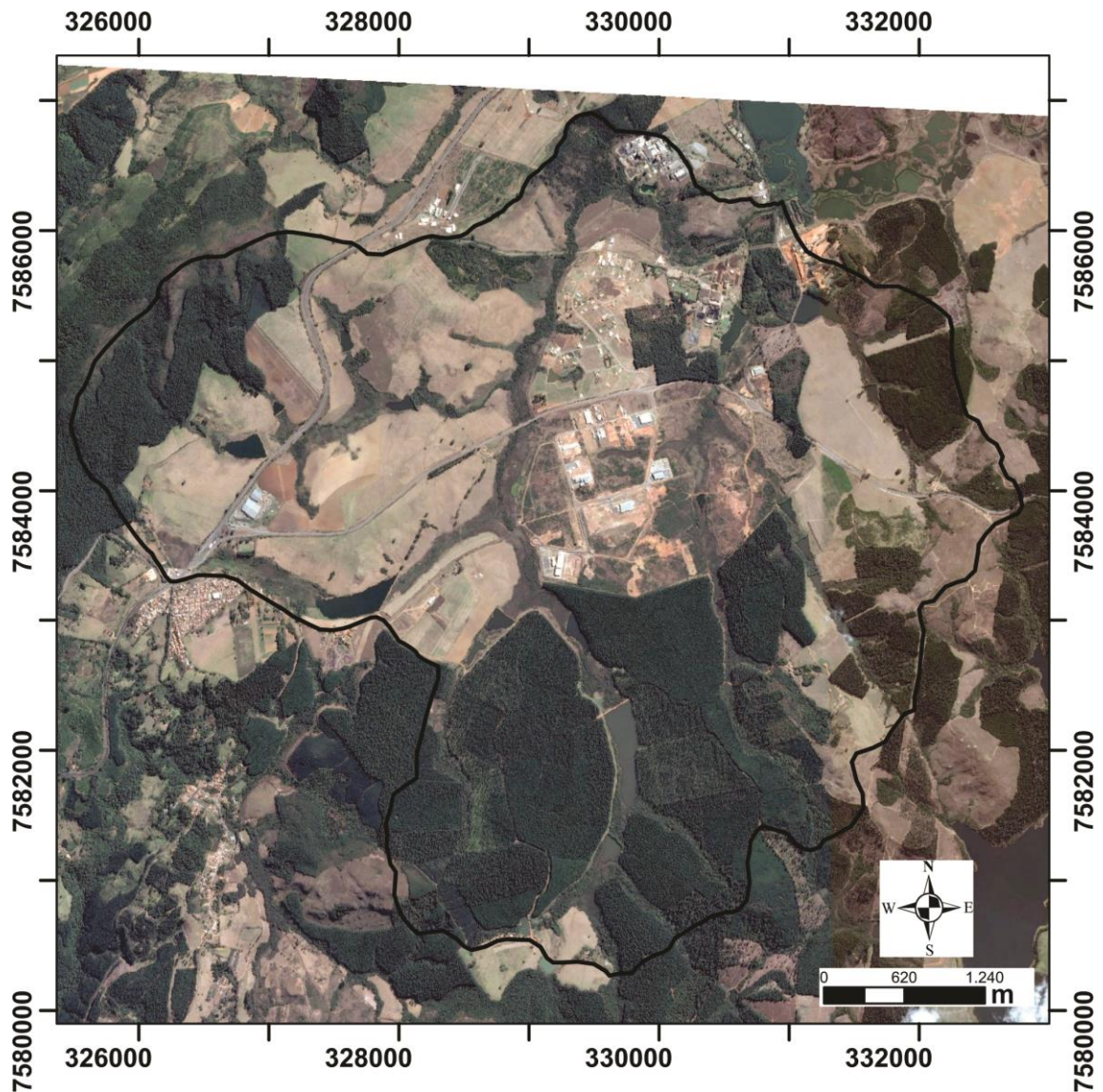


Figura 25. Imagem com a delimitação da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras visando à identificação da cobertura vegetal. Fonte: Google Earth Pro (2018)

4.2 Geologia e pedologia

De acordo com Ellert (1959), no Planalto de Poços de Caldas ocorrem diferentes tipos litológicos de filiação alcalina, sendo identificados quatro grupos de litotipos: (a) Brechas, Tufos e Aglomerados; (b) Rochas Efusivas e Hipoabissais (Tinguaítos e Fonólitos); (c) Rochas Plutônicas (Nefelina Sienitos, Lujauritos e Chibinitos) e (d) Rochas Potássicas. Na bacia do Córrego das Amoras afloram os litotipos Nefelina Sienitos, Fonólitos, Tinguaítos e Tufos (Figura 4).

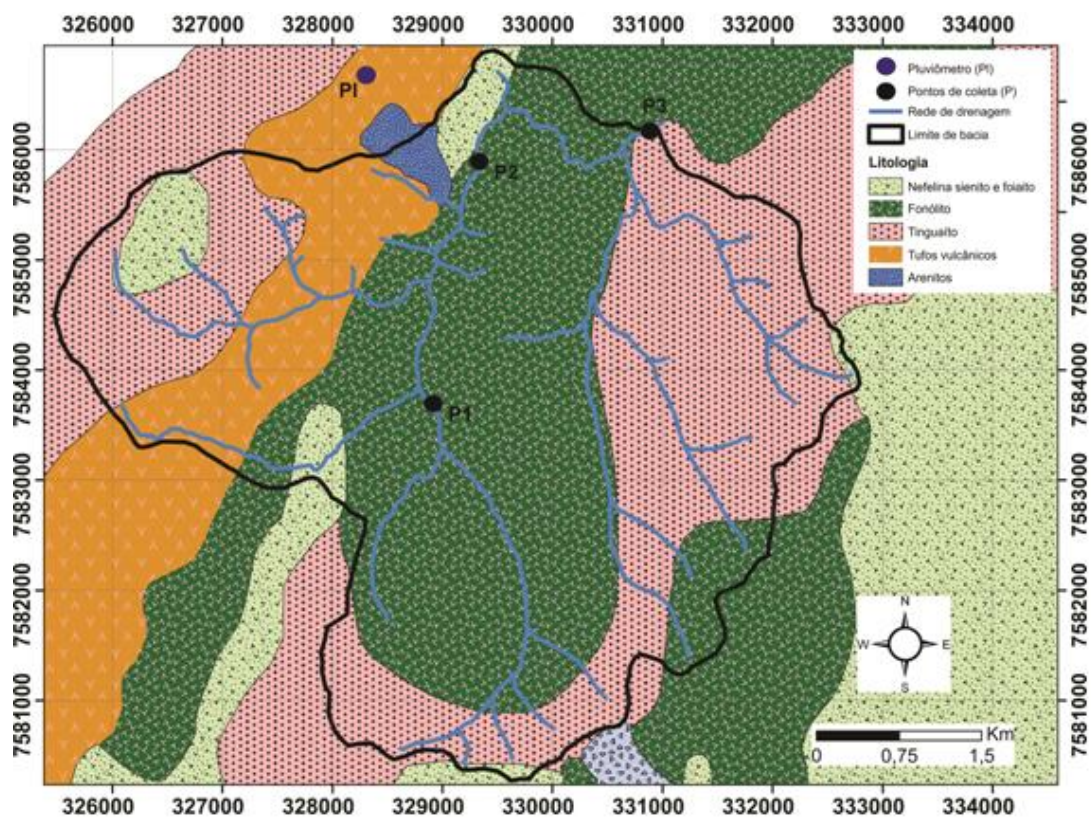


Figura 26. Mapa geológico da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras com a localização dos pontos de coleta e pluviômetro. Fonte: Autor

As rochas nefelina sienitos (foiaítos) são rochas de granulação grosseira a média, preferencialmente (VALETON et al., 1997). Os tinguaítos são rochas com texturas granulares ou sacaroides e correspondem à maior parte das rochas expostas no Complexo Alcalino de Poços de Caldas, ocorrem na maioria dos afloramentos, com coloração acinzentada, sendo observáveis amígdalas e vênulas em algumas amostras (SARDINHA et al., 2018). Os fonólitos são rochas com textura porfírica ou afanítica. A mineralogia das rochas (tinguaíto e

fonólitos) é formada por feldspato potássico (sanidina ou ortoclásio), feldspatóides (nefelina, leucita, sodalita, analcita), piroxênio sódico (egirina, egirina augita), hornblenda, biotita e raros plagioclásios (albita, oligoclásio) (ALMEIDA FILHO; PARADELLA, 1977).

Os tufos vulcânicos e brechas apresentam feições associadas a vulcanismos com lançamentos de cinzas vulcânicas, formado por tufos finos e/ou partículas de cinzas muito finas a vítreas, e brechas caóticas maciças, com fragmentos angulosos e acessórios de tamanhos extremamente variados (THOMAZ FILHO; RODRIGUES, 1999).

A origem dos solos do Planalto de Poços de Caldas se deu a partir de materiais regolíticos alóctones, apresentando um relevo recente de cascalhos e concreções. Quanto às suas classificações, são predominantemente Cambissolos háplicos distróficos (CXd) e Neossolos, havendo também porções representativas de Argissolos Amarelo distróficos (PVAd), Latossolos Vermelhos distróficos (LVd) e Latossolos. Nas paisagens de baixadas, os solos se apresentam com volumes gleicos e material orgânico enterrado (MORAES, 2008).

Na área da sub-bacia hidrográfica predominam solos do tipo Cambissolos háplicos nas áreas de relevos mais movimentados, havendo também porções representativas de Argissolos Amarelos e Latossolos Vermelhos em áreas de relevos mais acidentados. Gleissolos e Organossolos afloram nas margens do Córrego das Amoras e em áreas de relevos mais planos. Quanto aos teores nutricionais dos solos da região, normalmente são muito baixos devido às rochas de origem, que apresentam baixos teores de bases trocáveis e saturação de bases. Entretanto, áreas próximas de baixadas com formações vegetais aluviais, há solos com fertilidades moderadas (FERNANDES et al., 2003).

4.3 Geomorfologia, relevo e topografia

A região de Poços de Caldas situa-se na província geomorfológica denominada Planalto Sul de Minas que é subdividido em três unidades: a Superfície do Alto Rio Grande, o Planalto de São Pedro de Caldas e o Planalto de Poços de Caldas (CPRM, 1979). Segundo Christofolletti (1972), o Planalto de Poços de Caldas se formou com uma intensa atividade vulcânica que provocou diversas alterações no terreno, soerguimento com posterior abatimento, originando uma caldeira com cerca de 30 km de diâmetro, com cota média de 1.200 m de altitude e serras que alcançam 1.600 m. A maior parte do planalto localiza-se na região Sul do estado de Minas Gerais, mais precisamente na borda ocidental da Serra da Mantiqueira (CHRISTOFOLETTI, 1972).

As zonas que abrangem o Planalto de Poços de Caldas podem ser divididas em três (ZAINÉ et al., 2008): (1) Zona do Planalto do Maciço Cristalino; (2) Zona da Serra Anelar e/ou Dique Anelar; (3) Planalto do Maciço Alcalino Interno. As nascentes da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras estão localizadas no Dique Anelar da Caldeira Vulcânica de Poços de Caldas, e compreende montanhas com topos restritos na Serra do Serrote, interflúvio dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo. As águas drenam o Planalto do Maciço Alcalino Interno, formado por morros e morrotes de topos arredondados, colinas e planícies aluviais.

Verificando-se os cursos d'água que compõe a sub-bacia hidrográfica, nota-se que os mesmos coincidem com as áreas de menores declividades na Figura 5. Nota-se também, que em grande parte da sub-bacia a declividade varia entre 5 e 15%, principalmente nas calhas das principais drenagens. Além disso, os valores de declividade mais elevados encontram-se nas extremidades (divisores de água), como pode ser visto nas bordas Oeste, Leste e Sul, onde os valores de declividade variam entre 15 e 60%, apresentando inclusive, alguns valores superiores a 60% na borda Sul e Oeste (Serra do Serrote e Dique Anelar da Caldeira vulcânica).

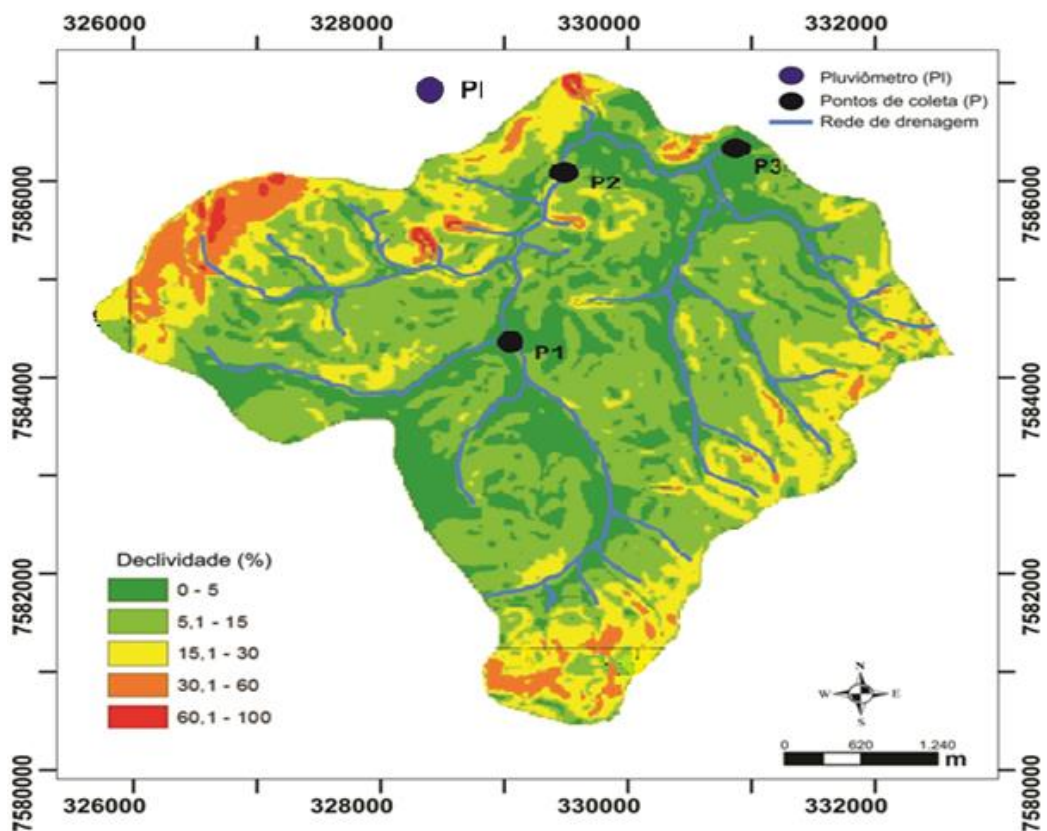


Figura 27. Declividade da região da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras.

Fonte: Autor

4.4 Hidrografia e usos da terra

A sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras possui uma extensão de drenagem de 30,6 km, densidade de drenagem igual a 1,05 km km⁻² indicando, de acordo com Carvalho e Silva (2006), que a bacia apresenta uma drenagem regular. O comprimento do curso d'água principal é 9,05 km, e o fator de forma igual a 0,35, no qual indica que a sub-bacia possui um menor risco de enchentes em um curto espaço de tempo.

Quanto à hierarquia de drenagem STRAHLER (1952), a bacia possui um grau de ordenamento igual a (4). O ordenamento da drenagem da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras indica uma hierarquização dos canais fluviais, ou seja, o grau de ramificação (Figura 6).

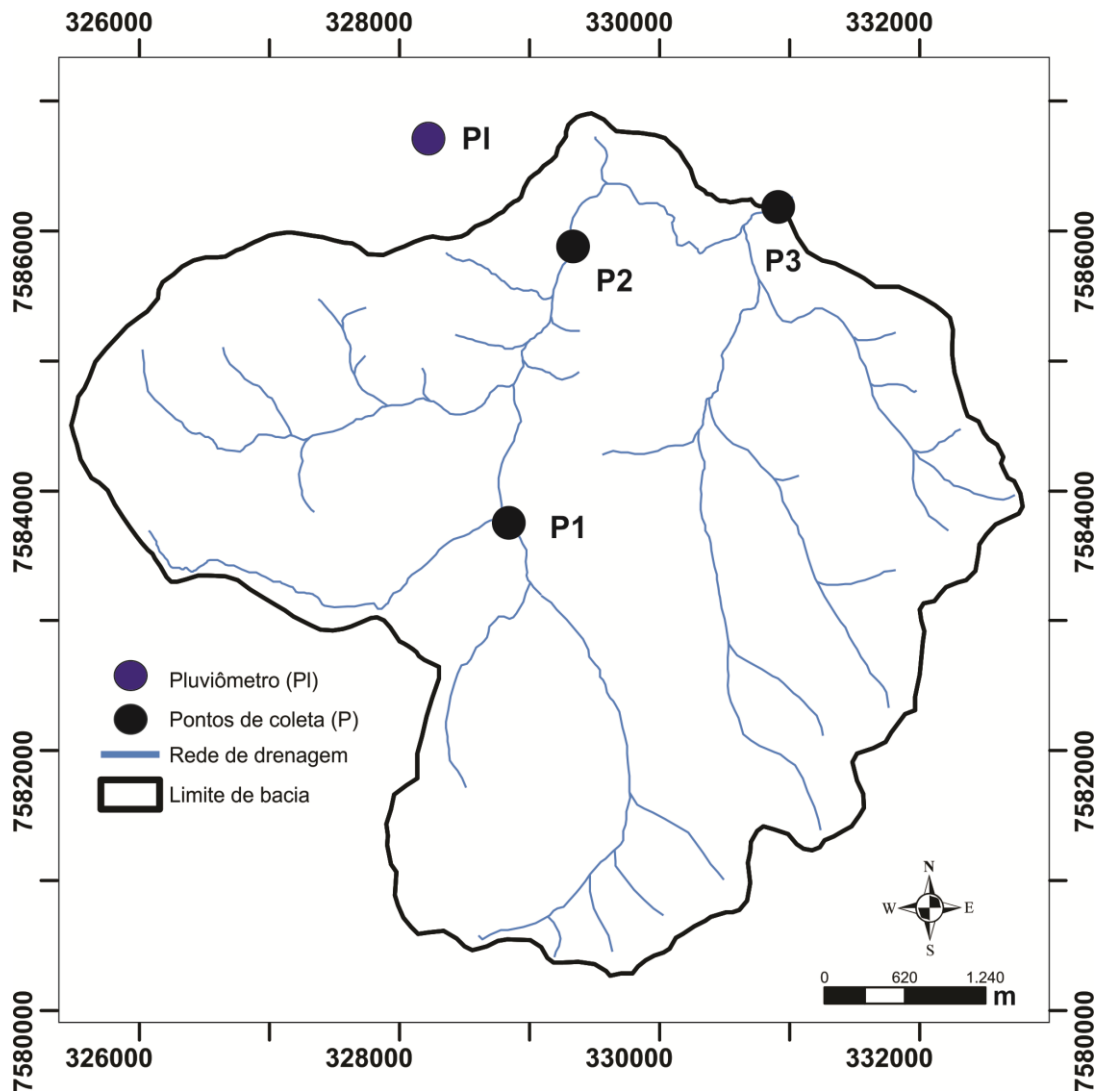


Figura 28. Sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras com a rede de drenagem e pontos de amostragem. Fonte: Autor

A sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras apresenta diversificados usos do solo, com destaque as áreas de atividades silviculturais, agrícolas e áreas urbanas (Figura 7). É possível identificar que a área a qual a sub-bacia hidrográfica em estudo se insere apresenta alto índice de reflorestamento, sendo que na maioria delas é encontrado o cultivo de eucalipto. Além disso, encontram-se grandes áreas de atividades agrícolas, merecendo destaque o cultivo de batata. Nota-se também a inserção de uma porção urbana na área central da bacia, sendo que nessa encontra-se o distrito industrial II de Poços de Caldas, pólo em desenvolvimento nesta região (Figura 7).

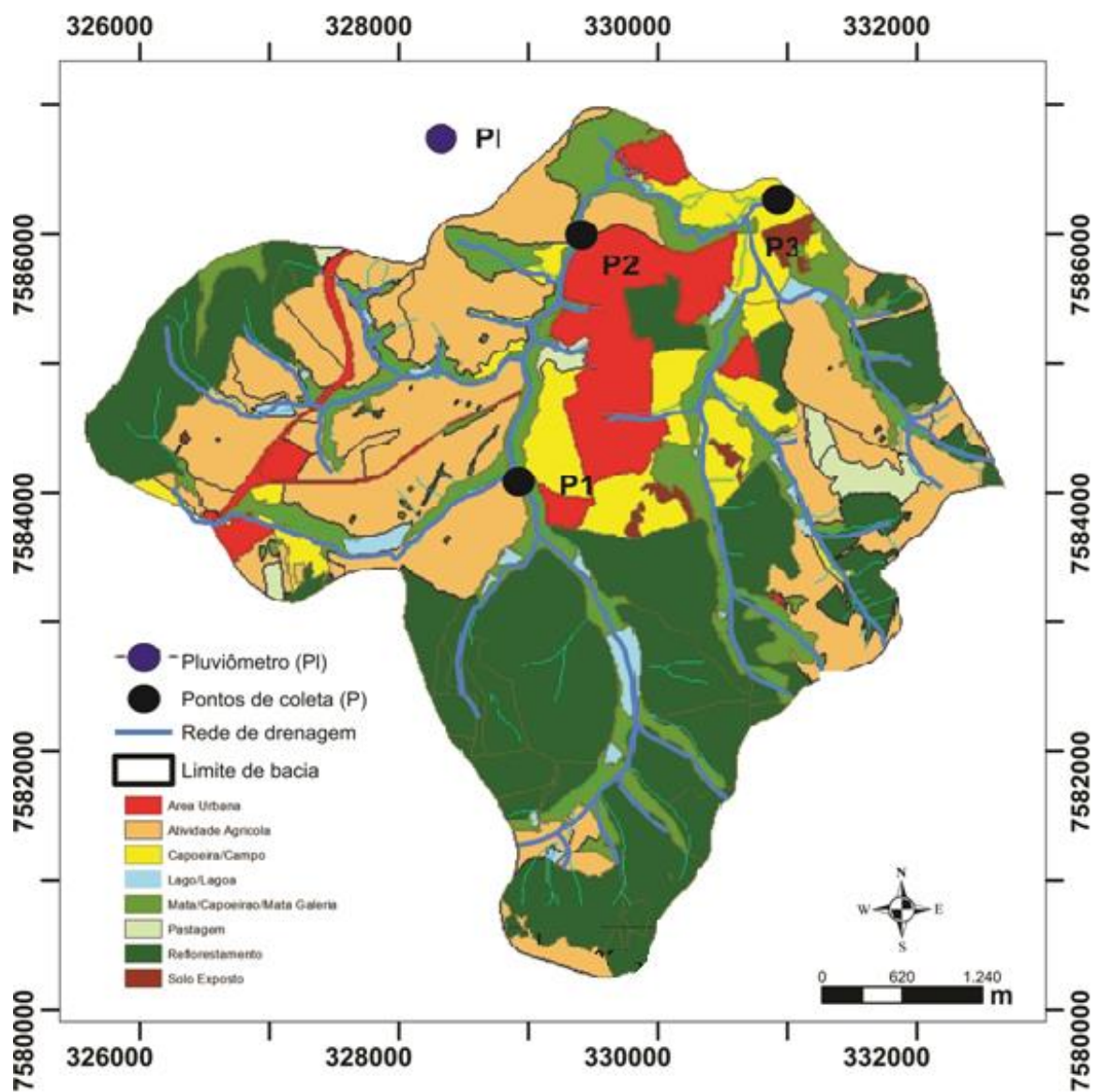


Figura 29. Uso do solo na região da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras.

Fonte: Autor

4.5 Pontos de monitoramento

Para a definição dos pontos de amostragem (Figura 8) foram estabelecidos critérios relacionados ao potencial de áreas-fonte de sedimentos e aos aspectos hidrográficos, sendo eles: curso superior (P1), curso médio (P2) e curso final (P3).

O curso superior encontra-se a 4,24 km de extensão após a nascente do Córrego das Amoras. Essa região é a única que possui um fragmento de vegetação ciliar em bom estado de preservação (Figura 8a). Este ponto recebe grande parte do escoamento superficial das áreas de reflorestamentos de eucalipto que compõem a montante. O canal fluvial é bem encaixado e com alta velocidade devido à declividade acentuada.

O curso médio localiza-se a 5,69 km após a nascente e possui uma mata ciliar que compreende exatamente os 30 metros estipulados pelo código florestal (Figura 8b). No entanto, há uma estrada pavimentada, onde todo o escoamento superficial das águas pluviais deságua no seu leito, levando consigo resíduos e apresentando grandes riscos de poluição.

O curso final, ou seja, a foz da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras está localizada a 9,4 km de extensão. Apresenta pouca vegetação ciliar e predominância de solo exposto (Figura 8c). O curso final encontra-se bem próximo a uma área industrial e uma estrada pavimentada com alto tráfego de veículos pesados. Este ponto drena todo o escoamento superficial de água da sub-bacia, suas margens apresentam solo compactado, principalmente próximo à estrada pavimentada.

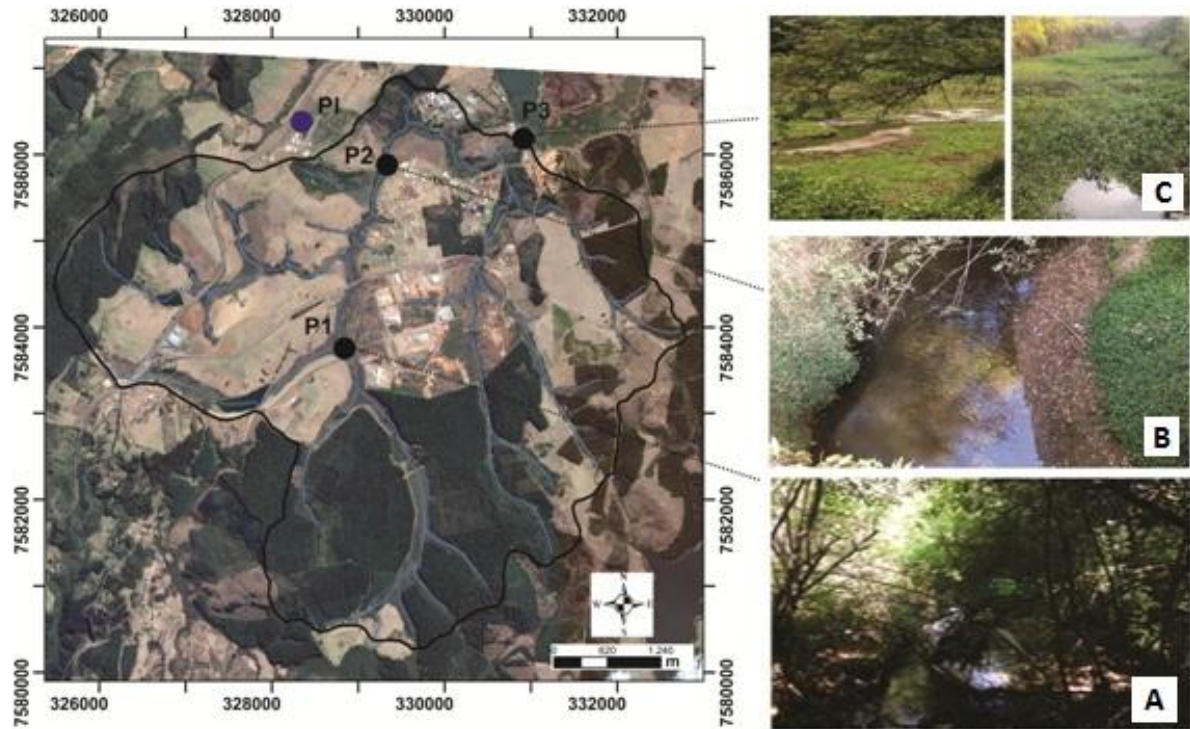


Figura 8. Pontos de coleta na sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras. Fonte: Google Earth Pro (2018). (a) Curso superior, encontrado a 4,24 km de extensão após a nascente do Córrego das Amoras. Possui fragmento de vegetação ciliar em bom estado de preservação. (b) Curso médio, localizado a 5,69 km após a nascente. Possui mata ciliar. (c) Curso final, localizado a 9,4 km de extensão, apresenta pouca vegetação ciliar e predominância de solo exposto. Fonte: Autor

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Caracterização fisiográfica da área de estudo

A caracterização fisiográfica da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras foi realizada por meio de levantamento de materiais bibliográficos e cartográficos disponíveis da área de estudo, além de monitoramento em campo. Para elaboração das cartas temáticas foram utilizados arquivos e cartas de Poços de Caldas em escala 1:50.000, folha SF-23-V-C-VI-4 (IBGE, 1972) e em escala de 1:10.000, folhas SF-23-V-C-VI-4-NO-F, SF-23-V-C-VI-4-NE-F e SF-23-V-C-VI-4-NW-F (DMAE, 1997). Em campo foram coletadas as coordenadas geográficas utilizando GSP modelo Garmin (Map 62S).

A declividade (S) da bacia hidrográfica foi determinada pela relação entre as diferenças de cotas (Δh) e o comprimento axial do curso d'água principal (ΔL), Equação (1).

$$S = \frac{\Delta h}{\Delta L} \quad (1)$$

A densidade de drenagem (Dd) foi obtida pela relação entre o somatório do comprimento dos cursos d'água ($\sum_{i=0}^n Li$) com a área da bacia (A), pela Equação (2).

$$Dd = \frac{\sum_{i=0}^n Li}{A} \quad (2)$$

O fator forma (Kf) foi obtido pelo quociente entre área da bacia (A) e o comprimento axial do canal principal ($L_{principal}$), pela Equação (3).

$$Kf = \frac{A}{L_{principal}^2} \quad (3)$$

5.2 Monitoramento da precipitação e vazão

Para o monitoramento da precipitação foi utilizado um pluviômetro semi automático modelo Delta OHM 2013-DB (0 a 6451 mm \pm 0,2 mm), instalado a aproximadamente 1,50

metros da superfície do solo, em local situado próximo ao interflúvio da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras, dentro do Campus de Poços de Caldas (Figura 9).

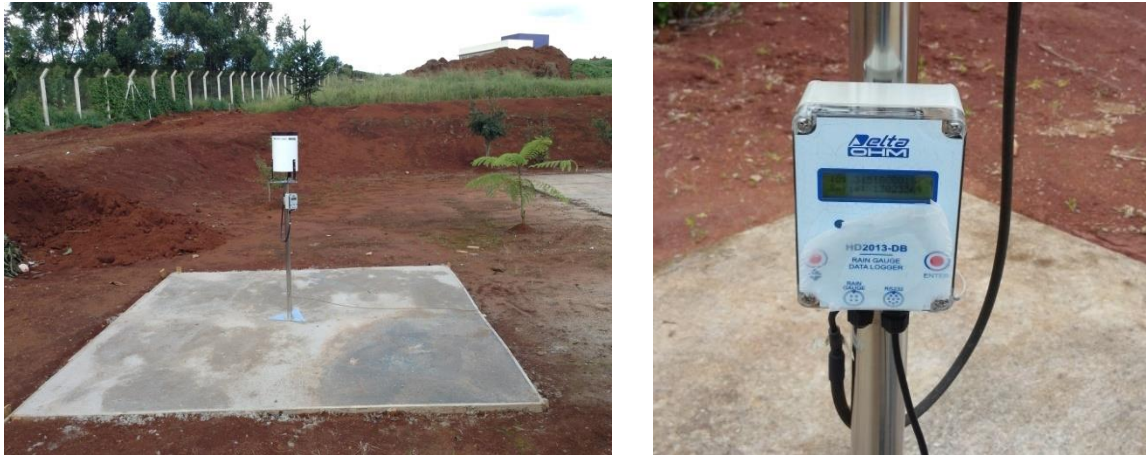


Figura 30. Pluviômetro semi automático modelo Delta OHM 2013-DB. Fonte: Autor

O monitoramento da vazão nos três pontos de amostragem foi determinado utilizando-se uma régua limnimétrica para medir o nível da água do rio (régua Vonder de aço inox de 2,0 m e escala de 1,0 mm, parafusada a uma régua de alumínio de 2,0 m), uma trena de aço longa (Vonder 30 m x 12,5mm) para a largura, e um micromolinete Flow Rate Sensor Vernier (Figura 10) para velocidade ($0,0$ a $4,0 \text{ m s}^{-1} \pm 0,0012 \text{ m s}^{-1}$). A vazão foi estimada de acordo com a Equação (4).

$$Q = P \times L \times V \quad (4)$$

Em que: Q = vazão ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$); P = profundidade do canal (m); L = largura do canal (m); V = velocidade de escoamento no canal (m s^{-1}).



Figura 31. Micromolinete Flow Rate Sensor e Software - Vernier. Fonte: Autor

5.3 Determinação de parâmetros físicos e químicos das águas superficiais

As águas fluviais foram monitoradas buscando-se as variações entre maiores e menores índices pluviométricos. Para isso, foi utilizado equipamento com eletrodos de leitura direta no próprio local de amostragem, um medidor portátil U-50 Multiparameter Water Quality Checkers da Horiba (Figura 11), previamente calibrado em laboratório para pH 4,00 ($4,01 \pm 0,01$ a $25 \pm 0,2^\circ\text{C}$) e 7,00 ($7,01 \pm 0,01$ a $25 \pm 0,2^\circ\text{C}$), a condutividade elétrica foi calibrada usando solução padrão de KCl ($1,0 \text{ mmol L}^{-1}$) de condutividade elétrica conhecida, $147 \mu\text{S cm}^{-1}$ a 25°C , oxigênio dissolvido com solução de sulfito de sódio (Na_2SO_3) $< 0,1 \text{ mg L}^{-1} \text{ O}_2$ e turbidez com solução de turbidez (100 NTU).

Com isso, foram analisadas as seguintes variáveis: pH (método de eletrodo de vidro, de 0,0 a $14,0 \pm 0,1$ pH); condutividade elétrica (método do eletrodo 4AC, de 0,0 a $100,0 \mu\text{S cm}^{-1} \pm 0,1 \%$); oxigênio dissolvido (método polarográfico, de 0,0 a $50,0 \text{ mg L}^{-1} \pm 0,2 \text{ mg L}^{-1}$); potencial redox (método do eletrodo de platina, de -2000 a $2000 \text{ mV} \pm 15 \text{ mV}$); turbidez (fonte de luz LED, de 0,0 a $800,0 \text{ NTU} \pm 1,0 \text{ NTU}$).



Figura 32. Medidor portátil U-50 Multiparameter Water Quality Checkers Horiba. Fonte: Autor

Para a coleta de sólidos totais em suspensão utilizou-se um amostrador do tipo USDH-48 (Figura 12a), construído segundo especificações descritas em Carvalho et al., (2000). As amostras, após coleta em cada ponto de amostragem, foram armazenadas em vasilhames de polietileno e encaminhadas ao Laboratório Multiusuário VI do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas (ICT/Unifal). As amostras foram filtradas

com membranas de 0,45 μm (Figura 12b) acoplado a um conjunto Kitassato ligado a uma bomba de vácuo para quantificação do teor de sólidos totais em suspensão em triplicata, de acordo com Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998), segundo metodologia gravimétrica (Equação 5).

$$STS = \frac{P_1 - P_2}{V_{amostra}} \quad (5)$$

Em que: STS = concentração de Sólidos Totais em Suspensão (mg L^{-1}); P_1 = massa do filtro pesado após a filtração (mg), P_2 = massa do filtro pesado antes da filtração (mg) e V = volume da amostra de água filtrada (L).

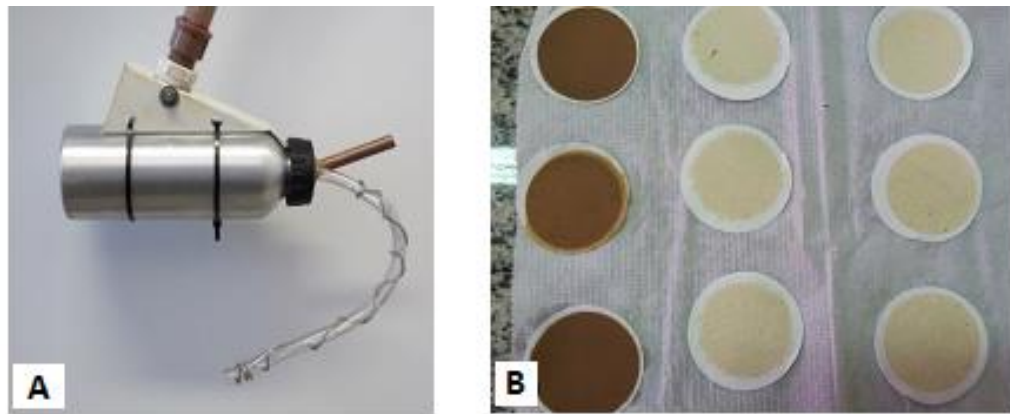


Figura 33. (a) Amostrador do tipo USDH-48. (b) Filtros para determinação de sólidos em suspensão. Fonte: Autor

5.4 Avaliação do transporte de sedimentos

Para a avaliação do transporte de sedimentos foi empregado o método simplificado de Colby (1957), descrito por Carvalho (2008). O método simplificado de Colby (1957) é um método vantajoso de medição de descarga sólida total, pois requer um número reduzido de dados para sua aplicação, tornando-o bastante simples (SCAPIN, 2007). Este método utiliza-se de dados de descarga líquida, velocidade média, profundidade média, largura da seção e concentração média de sólidos totais em suspensão, sendo executado através do cálculo das Equações 6, 7 e 8.

$$Q_t = Q_{sm} + Q_{nm} \quad (6)$$

Em que: Q_t = transporte de material sólido anual (t. dia^{-1}); Q_{sm} = transporte de material

sólido anual em suspensão ($t. dia^{-1}$); Q_{nm} = transporte de material sólido anual por arraste ($t. dia^{-1}$).

$$Q_{sm} = 0,0864 \times Q_{anual} \times (STS) \quad (7)$$

Em que: Q_{sm} = transporte de material sólido anual em suspensão ($t. dia^{-1}$); Q_{anual} = vazão anual ($m^3 s^{-1}$); C_s = concentração média ponderada de sólidos totais em suspensão ($mg L^{-1}$).

$$Q_{nm} = q_{nm} \times K \times L \quad (8)$$

Em que: Q_{nm} = transporte de material sólido anual por arraste ($t. ano^{-1}$); q_{nm} = transporte de material por arraste não medido ($t. dia^{-1}$); K = fator de correção (obtido a partir da relação $C_s Cr^{-1}$, onde Cr é obtido a partir das médias de velocidade e profundidade); L = Largura do rio (m).

Para o cálculo da Equação 8 (Q_{nm}) foi utilizado o Software WinTSR, desenvolvido por Paiva (2001) conforme ilustrado na Figura 13. Este programa utiliza os dados de largura do canal (m), velocidade média ($m s^{-1}$), profundidade (m), vazão ($m^3 s^{-1}$) e concentração de sólidos totais em suspensão ($mg L^{-1}$). A utilização dos dados de profundidade hidráulica é admitida quando o canal do rio tem uma seção retangular, caso não observado para a sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras, portanto foram utilizados os dados de profundidade média.

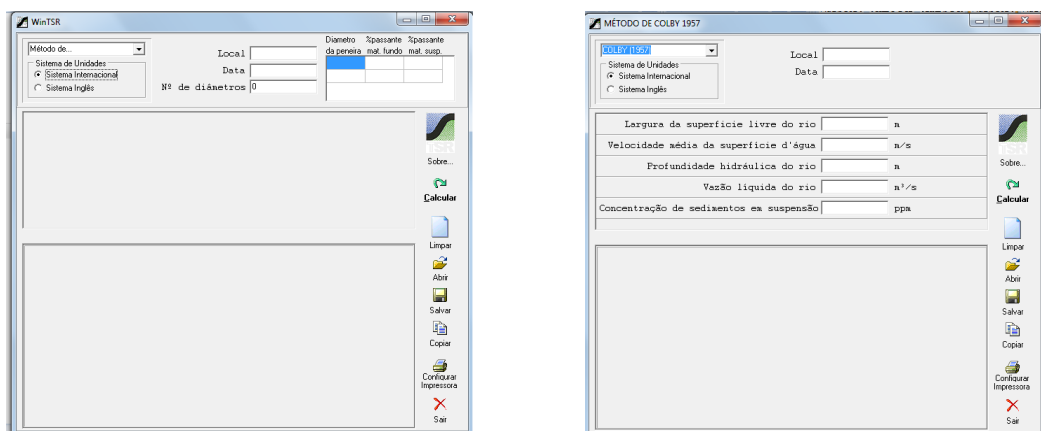


Figura 34. Interfaces do programa WinTSR. Fonte: Autor

Para se conhecer o transporte específico anual de carga dissolvida e a descarga sólida total para os três pontos, foi necessário relacionar a concentração média ponderada com a vazão média durante todo o período de amostragem, estimando a quantidade total evacuada pelo Córrego das Amoras em toneladas por ano (Equação 9).

$$C_E = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (9)$$

Em que: C_E é a concentração média ponderada pela vazão do parâmetro (mg L^{-1}); C_i = a concentração do parâmetro para a quantificação i (mg L^{-1}); e Q_i = vazão do rio no dia da quantificação i ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Precipitação na sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras

A Tabela 1 apresenta a caracterização das séries pluviométricas, apontando as diferenças quanto aos totais pluviais no período de julho de 2016 a março de 2017.

Tabela 13. Precipitação (mm) durante o período de estudo.

<i>Dia</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Out</i>	<i>Nov</i>	<i>Dez</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>
	<i>(mm)</i>								
1	0,0	0,0	0,6	0,0	0,6	0,2	0,0	0,0	2,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	17,8	1,6
3	0,0	0,0	0,0	14,2	3,8	18,4	2,8	12,8	26,4
4	0,0	0,0	0,2	24,6	10,2	23,8	0,6	0,6	22,2
5	0,0	0,0	0,0	0,2	75,0	6,6	0,8	13,2	6,2
6	0,0	0,0	1,4	0,8	0,2	0,0	5,0	0,0	1,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	24,0	2,4	0,8	4,4
8	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	28,2	9,0	9,2	2,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	7,2	2,8	15,8	1,2	0,0
10	0,0	0,6	0,0	0,0	9,6	22,8	4,0	0,0	0,4
11	0,0	0,0	0,0	2,0	2,4	2,6	3,4	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	1,8	2,6	4,2	11,2	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	10,8	11,6	6,0	1,0	0,0	0,2
14	0,0	0,0	0,0	8,2	61,6	1,6	2,4	0,0	10,0
15	0,0	8,4	0,0	3,2	0,0	0,6	3,6	0,0	2,0
16	1,4	2,8	0,0	4,0	0,0	0,2	28,6	37,2	0,0
17	0,0	0,0	0,0	2,2	8,8	0,0	32,4	3,6	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	117,0	0,0	85,0
19	0,0	0,0	0,2	0,6	0,0	13,0	0,2	0,6	33,2
20	0,0	14,4	0,6	0,4	0,0	0,2	30,6	0,0	0,4
21	0,0	34,8	0,0	11,8	0,0	0,2	3,6	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	19,0	10,2	14,8	19,8	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,0	2,0	0,6	0,2	3,4	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	22,8	0,0	0,0	0,4	5,2	0,0
25	0,0	0,0	0,0	38,8	0,0	6,0	0,8	1,4	0,0
26	0,0	0,0	0,0	2,0	10,0	0,2	14,6	7,2	0,0
27	0,0	0,0	0,0	7,6	1,0	0,0	1,6	16,2	0,0
28	0,0	0,0	0,0	0,0	34,0	4,4	0,0	12,2	3,2
29	0,0	0,0	0,0	0,0	45,4	0,4	0,0	0,0	0,0
30	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
31	0,0	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0
Total	1,4	69,4	3,2	177,0	299,0	181,4	319,2	139,2	200,2

Os resultados indicam que no período de estiagem a primeira amostragem 14/07/16 não apresenta precipitação, nem precipitação acumulada, diferente da segunda 15/08/16 que apresenta 8,4 mm de precipitação, e acumulado em cinco dias de 9,0 mm. A amostragem do dia 19/09/16 apresenta 0,2 mm e acumulado de 2,6 mm.

Durante o período de enchente, a amostragem de 27/10/16 apresenta 7,6 mm de precipitação, com 177,0 mm no mês da amostragem. Em 29/11/16 os índices de precipitação foram de 45,4 mm, com 90,4 mm acumulados nos cinco dias anteriores e 297,8 mm nos dias do mês antes da amostragem. A amostragem do dia 19/12/16 apresenta 13,0 mm de precipitação e acumulados de 15,4 mm e 155,0 mm nos últimos cinco dias e mensal, respectivamente (Tabela 2).

O período de cheia apresenta em 21/01/17 um total de precipitação de 3,6 mm com 212,4 mm acumulado nos últimos cinco dias e 274,4 mm no mês, antes da amostragem. A segunda amostragem 24/02/17 apresenta precipitação de 5,2 mm, acumulados em cinco dias de 5,8 mm e 102,2 mm no mês. Por fim, o dia 29/03/17 apresenta um acumulado de 3,2 mm nos cinco dias que antecederam a amostragem e 200,2 mm no mês que antecedeu a amostragem (Tabela 2).

Tabela 14. Precipitação mensal acumulada durante o período de estudo.

<i>Amostragem</i>	<i>Total acumulado no mês, antes da amostragem (mm)</i>	<i>Total acumulado em cinco dias, antes da amostragem (mm)</i>	<i>Precipitação no dia da amostragem (mm)</i>
14/07/16	0,0	0,0	0,0
15/08/16	9,0	9,0	8,4
19/09/16	2,6	2,6	0,2
27/10/16	177,0	92,2	7,6
29/11/16	297,8	90,4	45,4
19/12/16	155,0	15,4	13,0
21/01/17	274,4	212,4	3,6
24/02/17	102,2	5,8	5,2
29/03/17	200,2	3,2	0,0

Os maiores valores de precipitação (319,2 mm) são verificados no mês de Janeiro do ano de 2017. O mês de Julho apresenta menores valores de precipitação, com 1,4 mm. Além disso, os períodos de amostragem (Figura 14) apresentam um total acumulado de 74,0 mm para estiagem (julho, agosto e setembro), 657,4 mm para enchente (outubro, novembro e dezembro) e 658,6 mm para o período de cheia (janeiro, fevereiro e março).

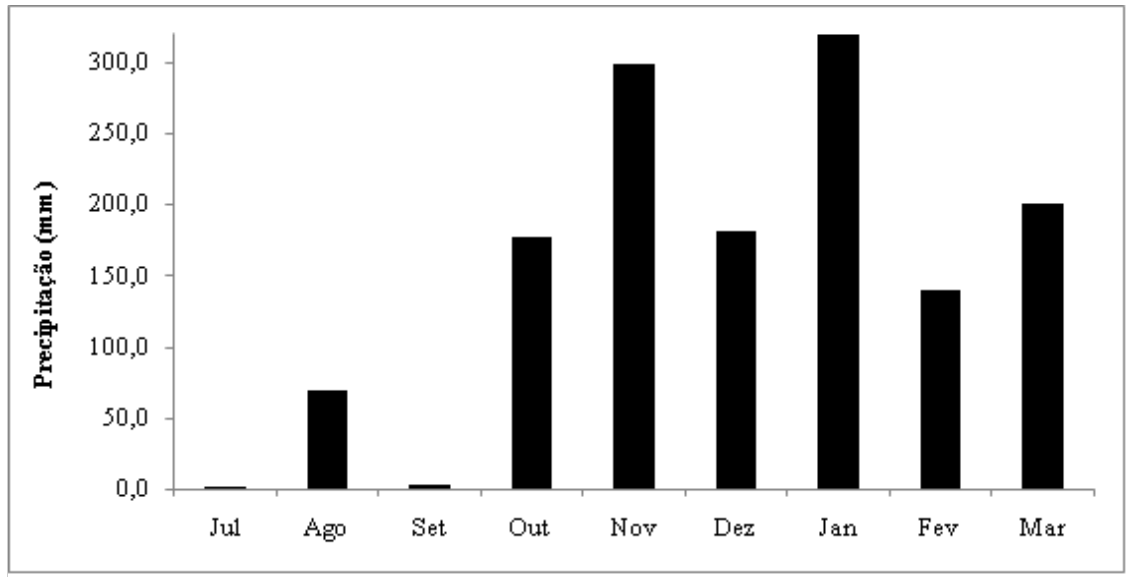


Figura 35. Precipitação total (mm) durante o período de estudo. Fonte: Autor

6.2 Aspectos físicos das calhas fluviais e vazão da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras

Para a quantificação da vazão foi necessário realizar medições da largura (m), profundidade (m) e velocidade das águas (m s^{-1}). Os resultados obtidos durante a amostragem encontram-se na Tabela 3.

Tabela 15. Aspectos físicos das calhas fluviais do Córrego das Amoras.

DATA	Curso superior (P1)				Curso médio (P2)				Curso final (P3)			
	L. (m)	P. (m)	V. (m s^{-1})	Vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	L. (m)	P. (m)	V. (m s^{-1})	Vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	L. (m)	P. (m)	V. (m s^{-1})	Vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
14/07/2016	1,00	0,13	0,17	0,04	3,48	0,28	0,21	0,57	3,28	1,07	0,22	1,50
15/08/2016	1,07	0,12	0,19	0,05	3,94	0,20	0,22	0,73	3,48	0,95	0,24	1,28
19/09/2016	1,10	0,14	0,21	0,03	4,22	0,33	0,19	0,84	3,19	1,11	0,25	1,66
27/10/2016	0,95	0,15	0,20	0,07	3,48	0,33	0,23	0,70	3,28	1,05	0,25	1,88
29/11/2016	1,07	0,17	0,19	0,08	3,94	0,28	0,22	0,82	3,48	0,82	0,22	1,33
19/12/2016	1,10	0,12	0,22	0,05	4,22	0,29	0,25	0,95	3,62	0,91	0,26	1,74
21/01/2017	1,27	0,16	0,21	0,18	3,90	0,35	0,22	0,85	3,55	1,12	0,31	1,75
24/02/2017	1,36	0,15	0,25	0,15	4,10	0,22	0,26	0,70	3,90	1,06	0,35	1,55
29/03/2017	1,44	0,19	0,24	0,18	4,45	0,41	0,23	0,72	3,85	1,28	0,39	1,92

L. = largura média P. = profundidade média V. = velocidade média.

O curso superior apresentou uma largura média de 1,15 m durante o período da amostragem, variando entre 1,03 m e 1,44 m. A profundidade do curso superior variou entre 0,12 m e 0,19 m, com uma média de aproximadamente 0,15 m. A velocidade média calculada

para o curso superior durante o período de amostragem foi de aproximadamente $0,21 \text{ m s}^{-1}$, variando entre $0,17$ e $0,25 \text{ m s}^{-1}$. Em relação aos valores de vazão no curso superior obteve-se uma média de $0,092 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, variando entre $0,028$ e $0,18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Figura 15).

No curso médio, a largura da calha variou entre aproximadamente $3,48$ e $4,45 \text{ m}$, com um valor médio de $3,95 \text{ m}$. Os valores de profundidade variaram entre $0,20$ e $0,41 \text{ m}$, com uma média de aproximadamente $0,30 \text{ m}$. A velocidade do curso médio variou entre $0,19$ e $0,25 \text{ m s}^{-1}$, com um valor médio de aproximadamente $0,23 \text{ m s}^{-1}$. Quanto aos valores de vazão do curso médio, houve uma variação entre $0,57$ e $0,95 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, com média de $0,76 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Figura 15).

O curso final apresentou uma largura média de $3,51 \text{ m}$, variando entre $3,19$ e $3,90 \text{ m}$. A profundidade média do curso final durante a amostragem foi de aproximadamente $1,05 \text{ m}$, variando entre $0,91$ e $1,28 \text{ m}$. Os valores de velocidade variaram entre $0,22$ e $0,39 \text{ m s}^{-1}$, com uma média de aproximadamente $0,28 \text{ m s}^{-1}$. A vazão do curso final da bacia do Córrego das Amoras teve um valor médio de $1,81 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, variando entre $1,28$ e $1,92 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Figura 15).

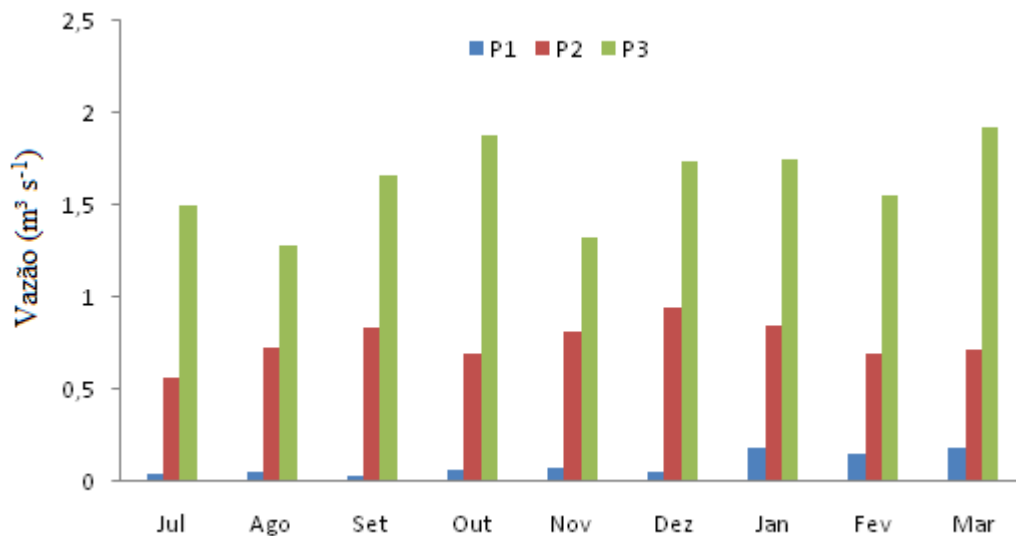


Figura 36. Dados da vazão nos pontos de coleta da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras. Fonte: Autor

6.3 Qualidade das águas superficiais da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras

As águas fluviais do curso superior (P1) da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras apresentaram valores de pH caracterizados próximo à neutralidade (pH médio de $6,2$), sendo os maiores e menores valores registrados nos dias $24/02/2017$ ($6,68$) e $15/08/2016$

(5,5), respectivamente (Tabela 4). Quanto aos valores do Potencial de Oxirredução, foi observado que houve uma variação entre 264,32 e 428,5 mv, e a média calculada foi de 339,65 mv (Tabela 4).

Tabela 16. Parâmetros físicos e químicos das águas superficiais do curso superior (P1).

DATA	pH	ORP (mv)	CE (μScm^{-1})	Turbidez (NTU)	OD (mg L^{-1})
14/07/2016	6,17	428,50	9,0	8,50	4,58
15/08/2016	5,50	330,85	11,0	9,30	5,44
19/09/2016	6,39	264,32	18,0	11,40	5,28
27/10/2016	6,37	348,75	17,0	9,30	4,82
29/11/2016	6,70	299,57	15,0	8,75	7,83
19/12/2016	5,96	268,94	11,0	10,04	5,82
21/01/2017	6,07	376,87	6,0	7,45	4,25
24/02/2017	6,68	410,64	12,0	9,28	6,53
29/03/2017	6,09	328,46	15,0	11,84	8,21

A condutividade elétrica média foi de $12,66 \mu\text{S cm}^{-1}$, sendo os maiores e menores valores obtidos nos dias 19/09/2016 ($19 \mu\text{S cm}^{-1}$) e 14/07/2016 ($9 \mu\text{S cm}^{-1}$), respectivamente. De acordo com a CETESB (2009), valores de condutividade elétrica acima de $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ são facilmente encontrados em corpos hídricos eutrofizados por esgotos industriais, domésticos e agrícolas, sendo estes valores mais altos que os obtidos neste trabalho, com isso, os resultados de condutividade elétrica no curso superior da bacia do Córrego das Amoras podem ser considerados baixos (Tabela 4).

A média dos valores de turbidez do curso superior foi de 9,54 NTU, indicando uma baixa presença de argila, silte e substâncias orgânicas. Os maiores e menores valores de turbidez foram em 21/01/2017 (7,45 NTU) e 29/03/2017 (11,84 NTU), respectivamente.

A média de oxigênio dissolvido foi de $5,86 \text{ mg L}^{-1}$, sendo que a maior concentração foi em 29/03/2017 com $8,21 \text{ mg L}^{-1}$, e o menor em 21/01/2017 com $4,25 \text{ mg L}^{-1}$. Esses baixos valores de oxigênio dissolvido no curso superior podem estar associados à baixa velocidade de escoamento próximo à nascente que diminuem as taxas de oxigenação nas águas superficiais.

A média dos valores de pH das águas superficiais do curso médio (P2) da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras foi de 6,07, se apresentando próximo à neutralidade, porém mais baixo que a média obtida para o curso superior (P1). O maior valor foi no dia 21/01/2017 (6,30), e o menor foi em 15/08/2016 com um valor de 5,80 (Tabela 5). O Potencial de Oxirredução do curso médio variou entre 259,00 e 479,82 mv, e observou-se que

os maiores valores foram no período de enchente, nos meses de Outubro e Novembro de 2016. A média do potencial de oxirredução no curso médio foi de 367,01 mv (Tabela 5).

Tabela 17. Parâmetros físicos e químicos das águas superficiais no curso médio (P2).

DATA	pH	ORP (mv)	CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Turbidez (NTU)	OD (mg L^{-1})
14/07/2016	6,10	259,0	37,0	9,2	4,3
15/08/2016	5,80	268,5	11,0	10,2	5,1
19/09/2016	6,30	410,4	28,0	10,6	5,8
27/10/2016	6,30	479,8	19,0	9,1	4,4
29/11/2016	6,00	419,5	11,0	8,7	7,0
19/12/2016	5,90	368,7	21,0	8,9	5,2
21/01/2017	6,30	279,8	25,0	8,6	4,7
24/02/2017	5,90	411,7	16,0	9,8	5,8
29/03/2017	6,10	405,7	29,0	11,7	7,5

O maior registro de condutividade elétrica do curso médio foi no mês de Julho de 2016 com um valor de $37 \mu\text{S cm}^{-1}$, sendo o maior valor registrado nos três cursos do Córrego das Amoras. Essa alta concentração pode estar diretamente associada com o escoamento de insumos provindos das práticas agrícolas e industriais realizadas próximas a esse ponto. O valor médio da condutividade observado foi de $21 \mu\text{S cm}^{-1}$, chegando a ser 90% mais alto que o valor registrado no curso superior.

A média de turbidez das águas superficiais foi de 9,64 NTU, sendo muito próxima da média no curso superior, também indicando possivelmente baixas composições de argila, silte e substâncias orgânicas nas águas superficiais do curso médio. Os maiores e menores valores de turbidez foram em 21/01/2017 (8,64 NTU) e 29/03/2017 (11,74 NTU), respectivamente.

Quanto ao oxigênio dissolvido, o valor médio foi de $5,52 \text{ mg L}^{-1}$, sendo muito próximo do valor obtido no curso superior, porém com menor concentração. A maior concentração de oxigênio dissolvido foi no dia 29/03/2017 com um valor de $7,48 \text{ mg L}^{-1}$, e o menor valor foi no dia 14/07/2016 de $4,34 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 5).

A variação do potencial de oxirredução do curso final (P3) foi entre 198,00 e 425,42 mv, sendo os maiores valores constatados no período de enchente, e os menores valores encontrados no período de seca. A média do potencial de oxirredução no curso final do Córrego das Amoras foi de 342,73 mv (Tabela 6).

Tabela 18. Parâmetros físicos e químicos das águas superficiais no curso final (P3).

DATA	pH	ORP (mv)	CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Turbidez (NTU)	OD (mg L^{-1})
14/07/2016	6,30	198,00	28,00	8,60	3,46
15/08/2016	5,30	218,45	14,00	9,40	4,69
19/09/2016	6,60	380,35	28,00	11,10	4,28
27/10/2016	6,15	416,80	11,00	8,75	5,20
29/11/2016	6,00	425,42	27,00	8,25	5,68
19/12/2016	5,70	318,54	14,00	7,50	4,79
21/01/2017	6,00	349,84	22,00	8,22	5,19
24/02/2017	5,50	401,74	18,00	9,34	5,27
29/03/2017	6,10	375,72	25,00	10,32	6,38

Quanto à condutividade elétrica, constatou-se que os maiores valores foram encontrados nos meses de Julho e Setembro de 2016, com um valor de $28 \mu\text{S cm}^{-1}$, e a menor concentração foi de $11 \mu\text{S cm}^{-1}$. A média de condutividade elétrica do curso final da bacia foi de $20,8 \mu\text{S cm}^{-1}$, ficando próxima à média observada no curso médio. Os valores de turbidez das águas superficiais do curso final variaram entre 7,5 e 11,10 NTU, com uma média de 9,5 NTU (Tabela 6).

A média de oxigênio dissolvido no curso final foi de 5 mg L^{-1} , sendo o menor dos três cursos monitorados. A maior concentração foi em 29/03/2017 com um valor de $6,38 \text{ mg L}^{-1}$, e o menor valor registrado foi no dia 14/07/2016 de $3,46 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 6).

A Figura 16 apresenta os resultados dos parâmetros de qualidade da água analisados nos três pontos da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras. Quanto ao pH os resultados médios foram de 6,21 em P1, 6,08 para P2 e 5,96 em P3. Os valores diminuem entre o curso superior e inferior, fato que pode estar relacionado com efluentes industriais, oxidação de matéria orgânica ou chuva ácida. Em trabalho realizado na bacia do Córrego da Ariranha, área rural do Planalto de Poços de Caldas, Sardinha et al., (2018) encontraram um valor (pH = 6,40) maior que os valores encontrados neste trabalho (Figura 16). Na bacia do Ribeirão de Poços, área urbana do Planalto de Poços de Caldas, Souza e Souza, (2015) analisaram as concentrações de pH e encontraram um valor médio de 6,0 para os rios avaliados.

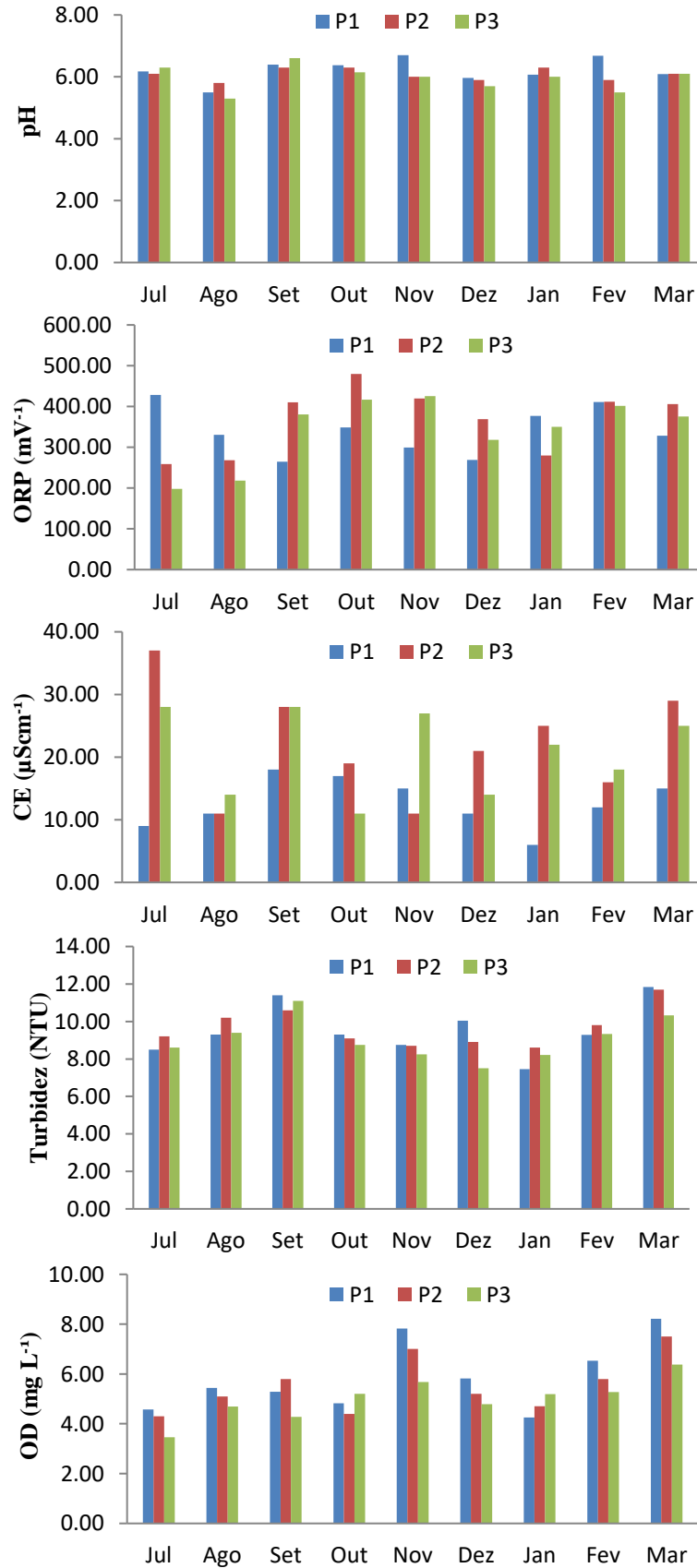


Figura 37. Parâmetros de qualidade da água da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras. Fonte: Autor

O Potencial de Oxirredução ou Oxidação/Redução esta relacionada com a capacidade de elementos químicos em ceder (ser oxidada) ou adquirir (ser reduzida) elétrons. Os valores médios foram de 339,66 mv em P1, 367,01 mv para P2 e 342,76 mv em P3 (Figura 16). Os valores estão dentro da faixa de rios e lagos (pH = 4 a 10) e (ORP= +600 a -100), conforme Faure (1998).

Na bacia (Figura 16), os menores valores médios de condutividade elétrica foram encontrados em P1 ($12,67 \mu\text{S cm}^{-1}$), aumentando em P2 ($21,89 \mu\text{S cm}^{-1}$) e mantendo-se com valores próximos em P3 ($20,78 \mu\text{S cm}^{-1}$). A condutividade elétrica expressa a capacidade de uma água em conduzir a corrente elétrica (sais), e pode representar indiretamente a concentração de poluentes. Os valores estão abaixo dos encontrados para as bacias do Córrego da Ariranha, média = $38 \mu\text{S cm}^{-1}$ (SARDINHA et al., 2018) e do Ribeirão de Poços média de $48,20 \mu\text{S cm}^{-1}$ (SOUZA; SOUZA, 2015).

A turbidez pode ocorrer principalmente por sólidos constituídos de algas, protozoários, bactérias, silte, areia e argila em suspensão, resíduos industriais e domésticos, entre outros, conforme valores de turbidez média 27,80 NTU encontrados na área urbana do planalto de Poços de Caldas (SOUZA; SOUZA, 2015). Neste trabalho, os valores de turbidez variaram entre 9,64 NTU em P2 e 9,05 em P3, valores bem abaixo dos encontrados por (SOUZA; SOUZA, 2015)

Quanto ao oxigênio dissolvido, um dos principais indicativos a serem monitorados referentes à qualidade de um ambiente aquático, os valores tendem a diminuir ao longo da sub-bacia, média de $5,86 \text{ mg.L}^{-1}$ em P1, $5,53 \text{ mg.L}^{-1}$ em P2 e $4,99 \text{ mg.L}^{-1}$ para P3. Isto pode estar relacionado com a temperatura, oxidação da matéria orgânica e velocidade, quanto maior a velocidade, maior o processo de troca com a atmosfera. No Córrego da Ariranha, Sardinha et al., (2018) encontram um valor médio de $7,2 \text{ mg.L}^{-1}$, enquanto Souza e Souza, (2015) um valor médio de $4,71 \text{ mg.L}^{-1}$.

Não houve influência significativa da precipitação sobre os parâmetros físicos e químicos analisados durante o período monitorado, com exceção do oxigênio dissolvido e do potencial de oxirredução, que em eventos chuvosos alteraram suas concentrações moderadamente. No geral, a composição das águas superficiais em eventos de pluviosidade foi pouco modificada em relação às características analisadas pela sonda multiparâmetros.

Em relação aos pontos monitorados, os parâmetros físicos e químicos analisados também não tiveram grandes variações. O caso observado mais relevante foi no curso

superior, com alto potencial de oxirredução e baixa turbidez das águas, indicando que as águas próximas à nascente possuem menor quantidade de material em suspensão.

6.4 Concentração de sólidos na sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras

Os valores obtidos da concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) e sólidos totais em suspensão (STS) em cada ponto monitorado da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras podem ser observados na Tabela 7. Os valores de arraste foram calculados segundo a Equação 8.

Tabela 19. Concentrações de sólidos na sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras.

DATA	Curso superior (P1)			Curso médio (P2)			Curso final (P3)		
	STD	STS	Arraste*	STD	STS	Arraste*	STD	STS	Arraste*
	(mg L ⁻¹)								
14/07/2016	15,00	2,86	17,36	22,00	6,33	12,79	19,00	6,91	10,73
15/08/2016	19,00	4,48	23,15	22,00	7,87	14,11	23,00	7,12	11,48
19/09/2016	13,00	5,02	38,58	26,00	8,15	14,05	21,00	7,89	11,43
27/10/2016	13,00	5,91	21,49	22,00	9,48	9,76	15,00	13,84	18,10
29/11/2016	12,00	6,22	31,83	25,00	10,11	20,18	18,00	12,49	16,53
19/12/2016	16,00	6,15	43,98	19,00	9,74	21,20	20,00	15,39	19,69
21/01/2017	13,00	7,38	16,72	15,00	12,24	20,15	21,00	19,95	26,98
24/02/2017	17,00	8,35	21,60	21,00	15,31	26,62	14,00	18,52	27,03
29/03/2017	15,00	8,87	20,58	15,00	17,33	31,67	25,00	19,95	26,95

*Calculados segundo Equação 8.

No curso superior (Figura 17) a concentração de STD variou entre 12 e 19 mg L⁻¹, sendo que o maior valor registrado para esse ponto foi no mês de agosto de 2016, no período seco, e, o menor registro foi no período de enchente, no mês de novembro de 2016. No curso médio (Figura 18) as concentrações de STD foram maiores que no curso superior, variando entre 15 e 26 mg L⁻¹, com seu mais alto registro também no período seco. As concentrações de STD no curso final (Figura 19) apresentaram-se bem próximas dos valores do curso médio, porém sua maior concentração foi de 25 mg L⁻¹, no mês de Fevereiro de 2017, ou seja, no período de cheia (Tabela 7).

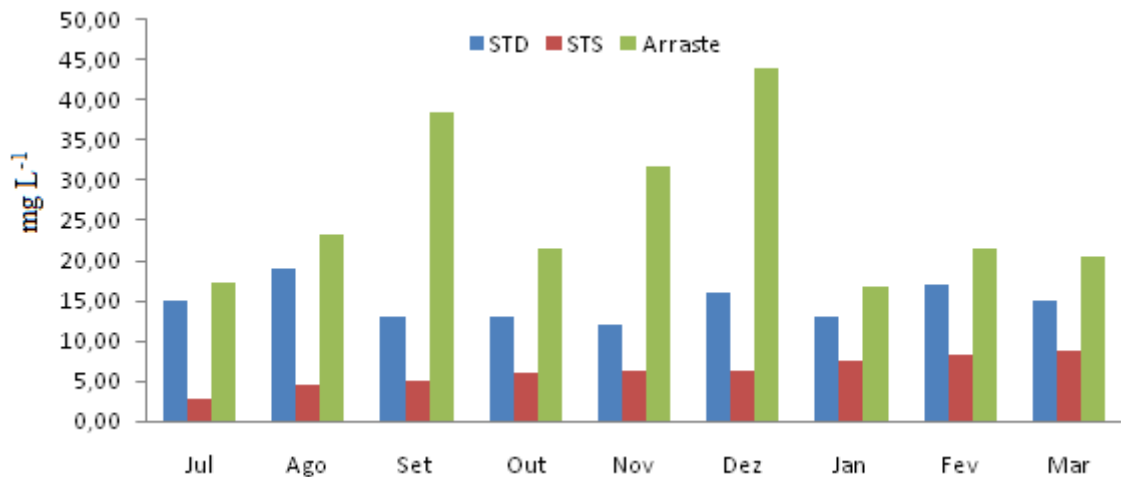


Figura 38. Concentração de sólidos no curso superior do Córrego das Amoras (P1).

Fonte: Autor

Em relação aos sólidos totais em suspensão (STS) observou-se que houve grande variação nas suas concentrações ao longo do monitoramento (Figuras 17, 18 e 19). O maior registro foi de 19,95 mg L⁻¹ e o menor foi de 2,86 mg L⁻¹. O curso superior apresentou um crescente aumento das concentrações durante os períodos de amostragem, sendo que o menor registro foi de 2,86 mg L⁻¹ no mês de julho de 2016 e o maior de 8,87 mg L⁻¹ no mês de fevereiro de 2017.

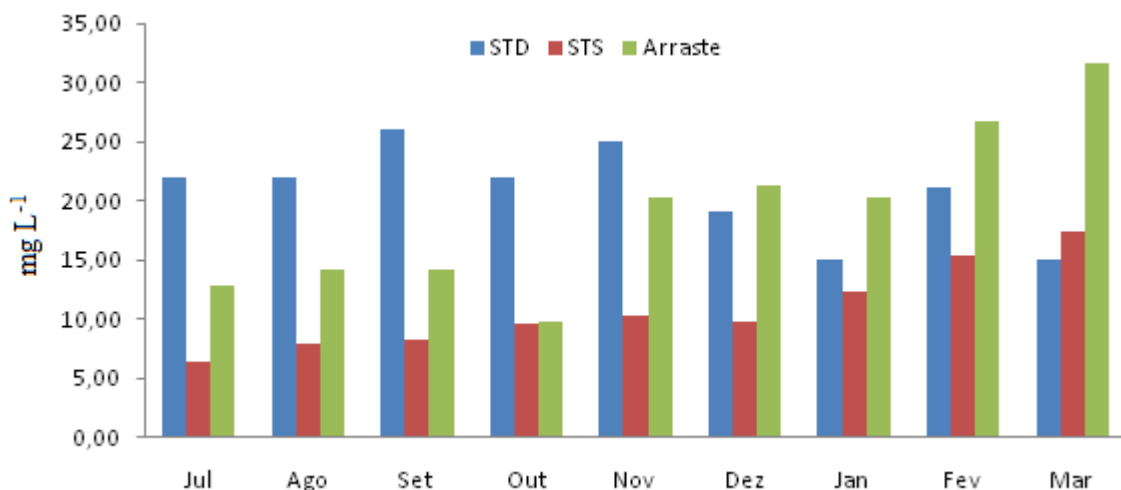


Figura 39. Concentração de sólidos no curso médio do Córrego das Amoras (P2).

Fonte: Autor

Semelhante ao curso superior, o curso médio também teve seu maior registro no mês de fevereiro de 2017 (17,33 mg L⁻¹), e o menor em julho de 2016. O curso final apresentou o

maior valor registrado de STS durante todo o monitoramento, com $19,95 \text{ mg L}^{-1}$, porém a média entre o curso médio e superior foi próxima, indicando que ambos os pontos apresentam características semelhantes de transporte de material em suspensão (Tabela 7 e Figuras 17, 18 e 19).

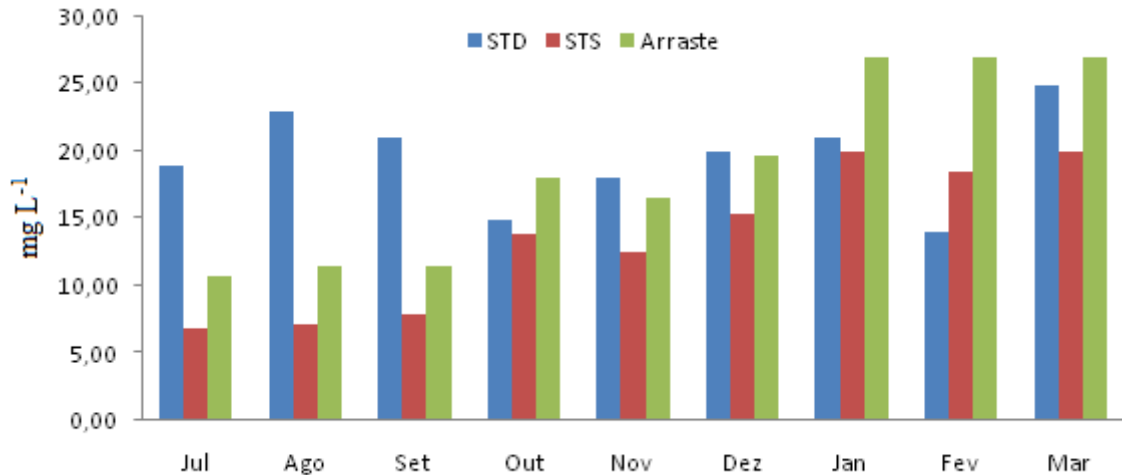


Figura 40. Concentração de sólidos no curso final do Córrego das Amoras (P3).

Fonte: Autor

Quanto às concentrações calculadas para arraste, o ponto P1 apresenta uma variação de $16,72 \text{ mg L}^{-1}$ em janeiro de 2017 a $43,98 \text{ mg L}^{-1}$ em dezembro de 2016, variação de aproximadamente $27,00 \text{ mg L}^{-1}$. O curso médio (P2) apresenta uma concentração média de $19,00 \text{ mg L}^{-1}$ de sedimentos de arraste, com uma variação de aproximadamente $22,00 \text{ mg L}^{-1}$. O curso final (P3), também apresenta valores médios semelhantes ao ponto P2, porém, com uma variação de aproximadamente $16,00 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 7 e Figuras 17, 18 e 19).

Em relação ao transporte sazonal de sedimentos na sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras, para os resultados apresentados nas Tabelas 7 e 8, foram calculados através da Equação 10 os períodos e/ou pulsos hidrológicos de estiagem (14/07/2016, 15/08/2016 e 19/09/2016), enchente (27/10/2016, 29/11/2016 e 19/12/2016) e cheia (21/01/2017, 24/02/2017 e 29/03/2017).

$$[S] = Q_{\text{média}} \times 7,776 \times (ST) \quad (10)$$

Em que: $[S]$ = concentração do sedimento no período estudado (t^{-1}); 7,776 = fator de correção no período estudado, três meses; Q = vazão média no período estudado ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$); ST = concentração média ponderada do sedimento no período estudado (mg L^{-1}).

A Tabela 8 apresenta a média ponderada pela vazão e a média aritmética de sedimentos calculada para os três pontos amostrados no Córrego das Amoras. Nota-se que houve pouca variação entre as concentrações de STD com uma média ponderada de 14,70 mg L⁻¹, 20,73 mg L⁻¹ e 19,59 mg L⁻¹ durante o período de estudo nos pontos P1, P2 e P3 respectivamente.

Quanto à concentração de STS durante a estação chuvosa, com o leito mais caudaloso, a energia que move o escoamento das águas pluviais e fluviais permite uma maior concentração de STS, fazendo com que a velocidade e a vazão das águas permitam uma concentração maior de sedimentos. Durante o período de estudo nos pontos P1, P2 e P3 as concentrações média ponderada foram de 7,09 mg L⁻¹, 10,75 mg L⁻¹ e 13,96 mg L⁻¹, respectivamente (Tabela 8).

O curso superior (P1) apresenta as maiores concentrações de sólidos transportados por arraste 23,15 mg L⁻¹, corroborando com os aspectos visualizados em campo, e, com a zona de alta velocidade com declive mais acentuado onde a força das águas é muito significativa. No curso médio, as concentrações de sólidos transportados por arraste tendem a diminuir, média ponderada de 19,11 mg L⁻¹, neste local, o declive do terreno já não é tão acentuado, diminuindo a competência de material transportado por arraste. Fato que também pode ser observado no curso final (P3), local onde rio perde velocidade, média ponderada de 19,23 mg L⁻¹.

Tabela 20. Média ponderada e média aritmética de sedimentos nos pontos P1, P2 e P3 da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras.

Período	Curso superior (P1)			Curso médio (P2)			Curso final (P3)		
	STD	STS	Arraste	STD	STS	Arraste	STD	STS	Arraste
<i>Média ponderada pela vazão (mg L⁻¹)</i>									
Estiagem	16,17	4,08	25,08	23,57	7,57	13,74	21,15	7,37	11,26
Enchente	13,35	6,09	31,25	21,84	9,79	17,62	17,56	14,02	18,24
Cheia	14,88	8,19	19,52	16,85	14,80	25,80	20,39	19,53	26,98
Total	14,70	7,09	23,15	20,73	10,75	19,11	19,59	13,96	19,23
<i>Média aritmética (mg L⁻¹)</i>									
Estiagem	15,67	4,12	26,36	23,33	7,45	13,65	21,00	7,31	11,21
Enchente	13,67	6,09	32,43	22,00	9,78	17,05	17,67	13,91	18,11
Cheia	15,00	8,20	19,63	17,00	14,96	26,15	20,00	19,47	26,99
Total	14,78	6,14	26,14	20,78	10,73	18,95	19,56	13,56	18,77

6.5 Transporte de sedimentos na sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras

Em relação ao transporte diário de sedimentos na sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras, as médias ponderadas foram calculadas através da Equação 7, enquanto as médias por período e/ou pulso hidrológico foram calculadas pela Equação 10. Quanto ao transporte de sedimentos em suspensão no curso superior (P1) notou-se uma variação entre 0,01 e 0,13 t. dia⁻¹, enquanto a contribuição média no período de estiagem foi de 1,27 t. Na enchente, o transporte médio ponderado em suspensão chegou a 3,16 t. Já no período de cheia a contribuição média ponderada do curso superior foi de 10,83 t (Tabela 9 e Figura 20).

O transporte de carga dissolvida no curso superior (P1) variou entre 0,03 e 0,23 t. dia⁻¹. O período de estiagem compreendeu um transporte médio ponderado de sólidos dissolvidos de 5,03 t, na enchente o transporte foi de 6,92 t, e no período de cheia o transporte chegou a 19,67 t. Já a variação do transporte de sedimentos por arrasto durante o período de amostragem foi de 0,06 a 0,32 t. dia⁻¹, indicando uma forte influência da sazonalidade no transporte de material no curso superior (P1). O transporte de sedimentos por arrasto no período de estiagem foi de 7,80 t. O período de enchente chegou a um valor de 16,20 t. Já no período de cheia, o sedimento de fundo teve uma contribuição de 25,80 t. (Tabela 9 e Figura 20).

Tabela 21. Transporte diário e trimestral (períodos sazonais) de sedimentos no curso superior (P1) da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras.

Período	Data	Transporte em suspensão		Transporte dissolvido		Transporte de arrasto		Transporte total	
		(t. dia ⁻¹)	(t)	(t. dia ⁻¹)	(t)	(t. dia ⁻¹)	(t)	(t. dia ⁻¹)	(t)
Estiagem	14/07/2016	0,010		0,052		0,060		0,122	
	15/08/2016	0,019	1,27	0,082	5,03	0,100	7,80	0,201	14,10
	19/09/2016	0,013		0,034		0,100		0,147	
Enchente	27/10/2016	0,036		0,079		0,130		0,244	
	29/11/2016	0,043	3,16	0,083	6,92	0,220	16,20	0,346	26,28
	19/12/2016	0,027		0,069		0,190		0,286	
Cheia	21/01/2017	0,115		0,202		0,260		0,577	
	24/02/2017	0,108	10,83	0,220	19,67	0,280	25,80	0,609	56,30
	29/03/2017	0,138		0,233		0,320		0,691	

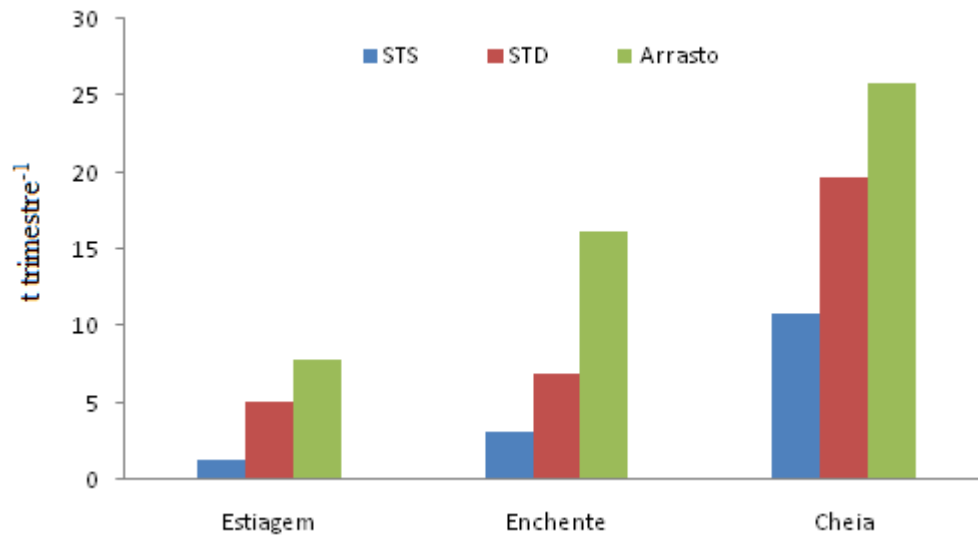


Figura 41. Transporte trimestral (períodos sazonais) de sedimentos no curso superior (P1) da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras. Fonte: Autor

O curso médio apresentou taxas elevadas de transporte de sedimentos quando comparadas ao curso superior, principalmente nos períodos de enchente e cheia, onde ocorreram altos valores de carga dissolvida transportada. Esse ponto é afetado diretamente pelas atividades agrícolas realizadas ao seu redor, provavelmente as águas pluviais carregam grande parte dos insumos produzidos no seu leito. Os resultados obtidos para o transporte de sedimentos no curso médio da bacia do Córrego das Amoras encontram-se na Tabela 10 e na Figura 21.

Tabela 22. Transporte diário e trimestral (períodos sazonais) de sedimentos no curso médio (P2) da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras.

Período	Data	Transporte em suspensão		Transporte dissolvido		Transporte de arrasto		Transporte total	
		(t. dia ⁻¹)	(t)	(t. dia ⁻¹)	(t)	(t. dia ⁻¹)	(t)	(t. dia ⁻¹)	(t)
Estiagem	14/07/2016	0,312		1,083		0,630		2,025	
	15/08/2016	0,496	41,99	1,388	130,74	0,890	76,21	2,774	248,94
	19/09/2016	0,591		1,887		1,020		3,498	
	27/10/2016	0,573		1,331		0,590		2,494	
Enchente	29/11/2016	0,716	62,68	1,771	139,82	1,430	112,81	3,917	315,31
	19/12/2016	0,799		1,560		1,740		4,099	
	21/01/2017	0,899		1,102		1,480		3,481	
Cheia	24/02/2017	0,926	87,08	1,270	99,14	1,610	151,80	3,806	338,03
	29/03/2017	1,078		0,933		1,970		3,981	

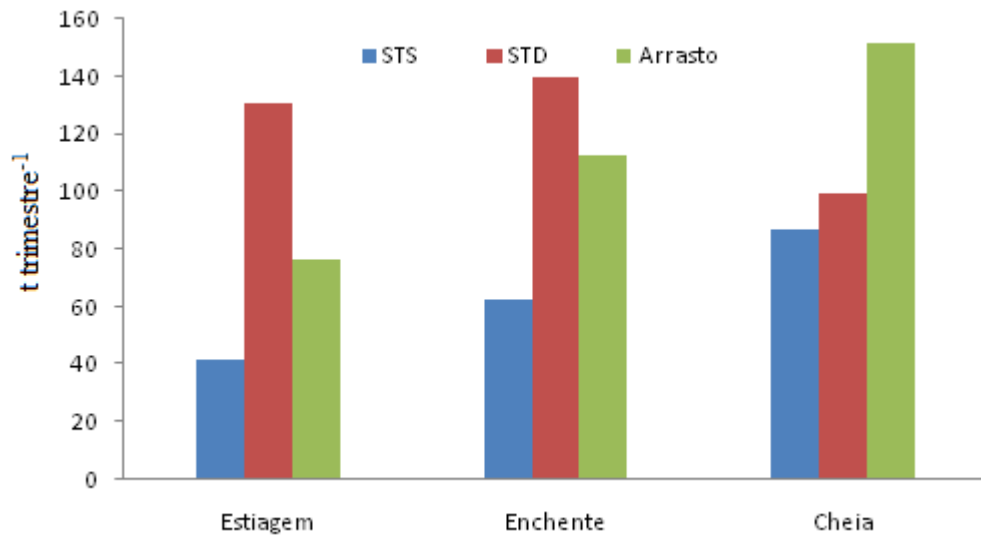


Figura 42. Transporte trimestral (períodos sazonais) de sedimentos no curso médio (P2) da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras. Fonte: Autor

O transporte em suspensão variou entre 0,31 e 1,07 t. dia⁻¹. A contribuição média ponderada no período de estiagem foi de 41,99 t. Na enchente, o transporte médio ponderado foi de 62,68 t, e, o período de cheia contribuiu em 87,08 t de sedimentos em suspensão transportados (Tabela 10 e Figura 21). Quanto ao transporte de sólidos dissolvidos no curso médio, houve uma variação entre 0,93 e 1,88 t. dia⁻¹. O valor da carga dissolvida transportada nos períodos de estiagem, enchente e cheia no curso médio da bacia foram de 130,74, 139,82 e 99,14 t, respectivamente (Tabela 10 e Figura 21).

A variação do transporte por arrasto durante o período de amostragem no curso médio foi de 0,63 a 1,97 t. dia⁻¹, indicando uma forte influência da sazonalidade no transporte de material. O transporte de sedimentos por arrasto no período de estiagem foi de 76,21 t. O período de enchente chegou a um valor de 112,81 t. Já no período de cheia, o sedimento de fundo teve uma contribuição de 151,80 t. (Tabela 10 e Figura 21).

O curso final compreendeu a maior importância do transporte de sedimentos no curso d'água do Córrego das Amoras. Os resultados do transporte de sedimentos ao longo do período analisado estão dispostos na Tabela 11 e na Figura 22.

Tabela 23. Transporte diário e trimestral (períodos sazonais) de sedimentos no curso inferior (P3) da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras.

Período	Data	Transporte em suspensão		Transporte dissolvido		Transporte de arrasto		Transporte total	
		(t. dia ⁻¹)	(t)	(t. dia ⁻¹)	(t)	(t. dia ⁻¹)	(t)	(t. dia ⁻¹)	(t)
Estiagem	14/07/2016	0,896		2,462		1,390		4,740	
	15/08/2016	0,787	84,82	2,544	243,40	1,270	129,59	4,590	457,81
	19/09/2016	1,132		3,012		1,640		5,780	
Enchente	27/10/2016	2,248		2,436		2,940		7,630	
	29/11/2016	1,435	179,88	2,068	225,30	1,900	234,03	5,410	639,21
	19/12/2016	2,314		3,007		2,960		8,270	
Cheia	21/01/2017	3,016		3,175		4,080		10,200	
	24/02/2017	2,480	264,25	1,875	275,88	3,620	365,05	7,970	905,17
	29/03/2017	3,309		4,147		4,470		11,900	

Os valores do transporte de sedimentos em suspensão no curso final variaram entre 0,89 e 3,30 t. dia⁻¹, apresentando a maior taxa de transporte diário de sedimentos em suspensão ao longo de todo período de amostragem. Na estiagem, a contribuição do transporte em suspensão foi de 84,82 t. No período de enchente houve um transporte de sedimentos em suspensão de 179,88 t. Quanto ao período de cheia, o transporte chegou a 264,25 t. (Tabela 11 e Figura 22).

O transporte de sólidos dissolvidos no curso final variou entre 1,87 e 4,14 t. dia⁻¹. Os valores da carga dissolvida transportada nos períodos de estiagem, enchente e cheia foram próximos, sendo respectivamente de, 243,40, 225,30 e 275,88 t. Em relação ao transporte de sedimentos por arrasto, a variação foi entre 1,27 e 4,47 t. dia⁻¹. O período de estiagem transportou aproximadamente 129,59 t de sedimentos por arrasto. Na estação de enchente o valor de transporte foi de 234,03 t. A estação de cheia apresentou o maior índice de transporte de sedimentos por arrasto no Córrego das Amoras, chegando a 365,05 t (Tabela 11 e Figura 22).

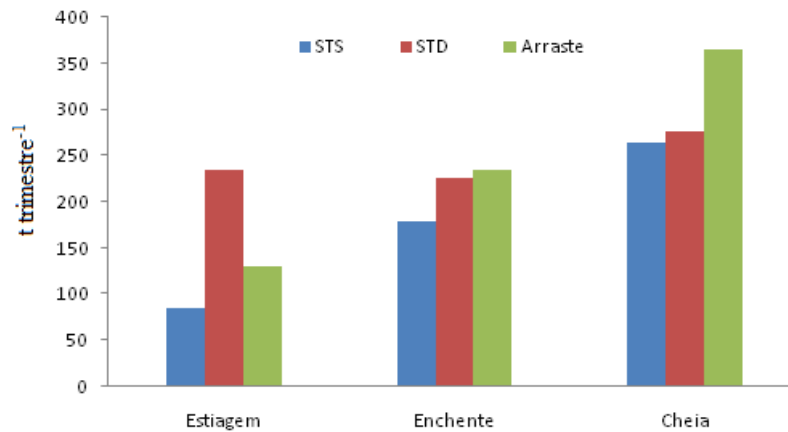


Figura 43. Transporte trimestral (períodos sazonais) de sedimentos no curso inferior (P3) da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras. Fonte: Autor

Em suma, a precipitação influenciou diretamente a taxa de transporte de sedimentos durante o período monitorado. Todos os pontos apresentaram diferenças marcantes no transporte de sedimentos e nos aspectos físicos das calhas fluviais, ou seja, a precipitação aumentou a taxa de transporte bem como as características do leito, como largura, profundidade e velocidade das águas. O valor mais baixo de transporte diário de sedimentos foi de 0,1 t. dia⁻¹ com 0,0 mm de precipitação no período de estiagem, e, o maior valor foi de 11,9 t. dia⁻¹ com 212,4 mm de precipitação no período de cheia.

Em relação ao transporte anual de sedimentos na sub-bacia do Córrego das Amoras, os resultados são apresentados na Tabela 12 e na Figura 23. As médias anuais foram calculadas através da Equação 11.

$$[S] = Q_{média} \times 31,536 \times (ST) \quad (11)$$

Em que: $[S]$ = concentração do sedimento anual (t. ano⁻¹); 31,536 = fator de correção no período estudado, ano; Q = vazão média total (m³ s⁻¹); ST = concentração média ponderada total do sedimento (mg L⁻¹).

O curso superior apresenta as menores taxas ao longo de todo período analisado, o que pode estar diretamente associado ao uso do solo nessa região, pois o ponto encontra-se em uma área de menor impacto ambiental, com uma margem considerável de vegetação ciliar. Além disso, o curso possui uma calha, velocidade de escoamento superficial e vazão que reduzem o transporte de material sedimentar. Os resultados obtidos de transporte de

sedimentos durante a amostragem no curso superior estão apresentados na Tabela 12 e na Figura 23.

Tabela 24. Transporte anual de sedimentos na sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras.

Ponto	Transporte em suspensão	Transporte dissolvido	Transporte de arrasto	Transporte total
	(t. ano ⁻¹)			
Curso superior (P1)	20,62	42,75	67,33	130,70
Curso médio (P2)	259,16	499,75	460,45	1219,36
Curso final (P3)	714,66	1002,88	984,45	2701,99

A média anual de transporte de sedimentos em suspensão no curso superior foi de 20,62 t. ano⁻¹ e de sedimentos dissolvidos de 42,75 t. ano⁻¹. A média anual calculada para o transporte de sedimentos por arrasto foi de 67,33 t. ano⁻¹. No curso superior o valor de transporte total anual foi de 130,70 t. ano⁻¹, sendo aproximadamente 16% de sedimentos em suspensão, 33% ao transporte de carga dissolvida e 51% ao transporte por arrasto (Tabela 12 e Figura 23).

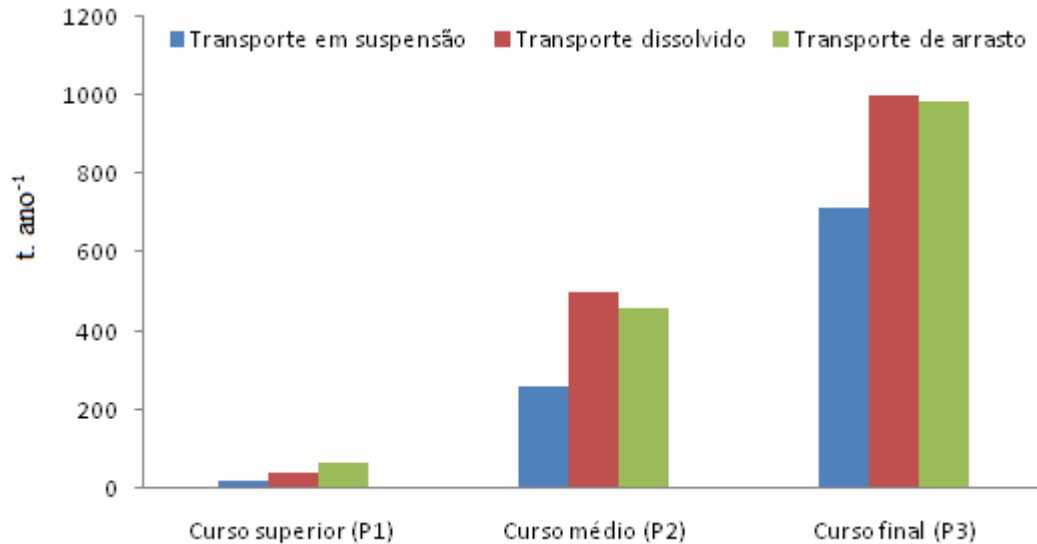


Figura 44. Transporte anual de sedimentos na sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras.

Fonte: Autor

A contribuição média anual de transporte de sedimentos em suspensão no curso médio foi de 259,16 t. ano⁻¹ e o de carga dissolvida de 499,75 t. ano⁻¹. A média anual calculada para o transporte de sedimentos por arrasto foi de 460,45 t. ano⁻¹. O curso médio apresentou um

transporte anual de sedimentos de 1219,36 t. ano⁻¹, sendo aproximadamente 21% em suspensão, 41% em carga dissolvida e 38% em sedimentos de fundo (Tabela 12 e Figura 23).

Quanto ao transporte anual de sedimentos do curso final da bacia do Córrego das Amoras, o valor total foi de 2701,99 t. ano⁻¹. O transporte médio anual de carga dissolvida no curso final da bacia do Córrego das Amoras foi de 1002,88 t. ano⁻¹, e de 714,66 t. ano⁻¹ de sedimentos em suspensão. Quanto à contribuição ou aporte de sedimentos desta sub-bacia hidrográfica, aproximadamente 26% compreenderam o transporte de sedimentos em suspensão, 37% o transporte de carga dissolvida e 36% por arraste (Tabela 12 e Figura 23).

O transporte de carga dissolvida, maior porcentagem (37%) obtida, indica um processo constante de denudação química das rochas que afloram nesta região. Além disso, pode demonstrar que há contribuição de elementos químicos nas águas superficiais, provavelmente por resíduos de construção civil, efluentes industriais e defensivos agrícolas.

Em suma, cada ponto monitorado apresentou diferenças marcantes em relação ao transporte de sedimentos. O curso superior apresentou baixos valores de transporte quando comparado aos cursos médio e final, porém sua taxa de transporte por arraste no fundo do leito foi consideravelmente alta. O curso médio e inferior ou final teve grande representatividade na produção de sedimentos nesta sub-bacia hidrográfica, destacando o transporte de carga dissolvida, sendo que o curso final contribuiu no dobro da produção de sedimentos quando comparado ao curso médio.

A bacia do Ribeirão Monjolo Grande com área de 28,87 km² está localizada no município de Ipeúna, centro leste do estado de São Paulo, mais precisamente na região geomorfológica das Cuestas Basálticas, compreendendo rochas dos grupos São Bento e Passa Dois. A bacia possui uma ocupação predominantemente rural, não apresentando em toda a sua extensão quaisquer atividades urbano-industriais (SPATTI JUNIOR, 2015). O transporte total de sedimentos nesta bacia foi de 13.735 toneladas, sendo 4.193 toneladas em suspensão e 9.542 por arraste (SPATTI JUNIOR, 2015).

O Ribeirão Cachoeirinha, localizada na unidade geomorfológica da Depressão Periférica Paulista no município de Rio Claro (SP), possui uma área de 14,73 km² e um uso do solo agrícola com rochas sedimentares da Formação Rio Claro. Nesta área Couto Junior et al., (2016) calcularam em 114,3 toneladas por ano de sedimentos dissolvidos e 169,8 toneladas por ano de sedimentos em suspensão.

No Planalto de Poços de Caldas Sardinha et al., (2018) estudaram a bacia do Córrego da Ariranha. A bacia que possui uma área de 6,3 km² é formada por rochas alcalinas

tinguaítos (fonólitos intrusivos) e tem como uso do solo atividades agrícolas com áreas de pastagem, reflorestamentos com o plantio de eucaliptos e matas nativas. Nesta área de estudo Sardinha et al., (2018) estimaram em 60 t de sedimentos dissolvidos transportados por ano, e, 55 t de sedimentos em suspensão transportados por ano na bacia.

Segundo Carvalho et al. (2000), a descarga em suspensão corresponde a mais de 90% da carga total de um rio. No entanto, segundo Haan, Barfield e Hayes (1994) para bacias hidrográficas de escala regional, a produção e transporte de sedimentos dependem de fatores como a erodibilidade das litologias, topografia e uso e ocupação da terra.

A bacia do Córrego das Amoras possui uma área de 29,11 km² e o comprimento do canal principal é de 9,05 km. As nascentes estão localizadas no Dique Anelar da Caldeira Vulcânica formada por montanhas com topos restritos, a uma altitude aproximada de 1550 metros e declividade que varia entre 15 e 60%. As águas drenam o Planalto do Maciço Alcalino Interno, formado por morros e morrotes de topos arredondados, colinas e planícies aluviais. O uso do solo consiste em atividades silviculturais, agrícolas e áreas urbanas. Com isso, estas características podem influenciar diretamente na contribuição ou aporte de sedimentos desta sub-bacia hidrográfica.

7 CONCLUSÃO

O estudo do transporte de sedimentos em bacias hidrográficas consiste num dos temas fundamentais em estudos de planejamento e gestão dos recursos hídricos. A avaliação deste fenômeno permitiu visualizar a intensidade deste fenômeno e suas implicações nas águas superficiais da sub-bacia hidrográfica do Córrego das Amoras, a fim de contribuir com um material de apoio para estudos de erosão e assoreamento nessa região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA FILHO, R.; PARADELLA, W.R. Estudo do maciço alcalino de Poços de Caldas através de imagens landsat com ênfase em mineralizações radioativas. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Relatório 1112-TPT/065**, São José dos Campos, p. 130, 1977.

ANDRADE, J. B.; MARTINS, C. R. Química Atmosférica do Enxofre (IV): emissões, reações em fase aquosa e impacto ambiental. **Nova Química**. São Paulo, v. 25, n. 2, 2002.

ANDREOZZI, S. L. **Planejamento e Gestão de Bacias Hidrográficas: uma abordagem pelos caminhos da sustentabilidade sistêmica**. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2005.

BERG, E. VAN DEN; SANTOS, M. DOS. Estrutura do componente arbóreo de uma floresta de galeria aluvial em Poços de Caldas, MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, p. 150–152, 2007.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Ed. Prentice Hall. São Paulo, 2002.

BRASIL. **Lei Federal Nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 09 Jan 1997, p. 470. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em 16 Jul 2018.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 357 de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, Publicação DOU nº 53, p. 58-63, 2005.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP). **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 186-205, 2013.

CABRAL, J. B. P. **Estudo do processo de assoreamento em reservatórios**. Programa de Pós Graduação em Geografia – UFU, p. 62-69, dez. 2004.

CARNEIRO, C. D. R; GONÇALVES, P. W; LOPES, O. R. **O Ciclo das Rochas na Natureza**. v. 5, n. 1, p. 50-62, 2009. Disponível em <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/td/article/view/8637502>>. Acesso em 06 Mai 2018.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Hidrologia**. Cap. 3. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006, p. 115. Disponível em <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/it113-hidrologia.htm>>. Acesso em 07 Jul 2018.

CARVALHO, N. O. et al. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: ANEEL. P. 140, 2000. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/Guia_ava_port.pdf>. Acesso em 08 Jul 2018.

_____. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília: ANEEL. P. 154, 2002. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/Guia_prat_port.pdf>. Acesso em 07 Jul 2018.

CARVALHO, N. O; GUILHON, L. G; TRINDADE, P. A. O assoreamento de um pequeno reservatório – Itiquira, um estudo de caso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, p. 69-79, 2008.

CARVALHO, T. M. Técnicas de medição de vazão por métodos convencionais e não convencionais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, n. 1, p. 73-84, 2008.

CHAPMAN, N. A. et al. **The Poços de Caldas Project: Summary and Implications for Radioactive Waste Management**. Uppsala, SKB-Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co., 1991.

CHRISTOFOLETTI, A. Características fisiográficas do Planalto de Poços de Caldas (MG -

Brasil). **Geomorfologia**, São Paulo, n. 32, p. 1-22, 1972.

_____. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher Ltda, 1981.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Projeto Sapucaí**: relatório final. Escala 1:250.000. São Paulo: DNPM/CPRM, 5 volumes, p. 289, 1979.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo de 1988**. Relatório. São Paulo, p. 303, 1989.

CONCEIÇÃO, F. T; BONOTTO, D. M. Relações Hidroquímicas aplicadas na avaliação da qualidade da água e diagnóstico ambiental na bacia do Rio Corumbataí (SP). **Geochimica Brasiliensis**, v. 16, n.1, p. 1-21, 2002.

COSTA, M. D. et al. Structure and Diversity of the Tree Community of a Upper Highlands Forest on the Plateau of Pocos De Caldas, Mg State. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 711–725, 2011.

COUTO JUNIOR, A. P. et al. Geoquímica fluvial aplicada à avaliação das taxas de intemperismo químico e remoção de solo da Formação Rio Claro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, nº 3, p. 451-464, 2016.

DE BARROS SILVA, E. et al. Comparação de métodos para estimar a acidez potencial mediante determinação do pH SMP EM organossolos da serra do espinhaço meridional. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 32, n. 5, p. 2007-2013, 2008.

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO (DMAE). **Levantamento aerofotogramétrico digital**, município de Poços de Caldas, MG. Escala 1:10.000, 1997.

DIAS, D. C. F. S.; MARCOS FILHO, J. Testes de vigor baseados na permeabilidade das membranas celulares. I. Condutividade elétrica. **Informativo Abrates**, Londrina, v. 5, n. 1, p. 26-36, 1995.

DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas do tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, v. 1, 1993.

DORFMAN, R. O papel do estado na gestão dos recursos hídricos. **Revista de Administração Pública**. Rio de Janeiro: FGV, vol. 27 (2) p. 19-27, 1993.

ELLERT, R. Contribuição à geologia do maciço alcalino de Poços de Caldas. **Bol Fac. Fil. Ciên. Letras USP**, São Paulo, v. 237, n.18, p. 5-63, 1959.

ESPÍNDOLA, E. L. G. et al. **A Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho**: uma abordagem ecossistêmica e a visão interdisciplinar. São Carlos: RiMa, p. 188, 2000.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2ª edição, p. 602, 1998.

FAURE G. **Principles and applications of geochemistry**. New Gersey: Editora Prentice Hall, 2ª edição, 1998, 605p.

FERNANDES, M. R. et al. (Coord.). Poços de Caldas: caracterização de ecossistemas. Belo Horizonte: EMATER-MG, 56 p., 2002

FONTOURA, J. A. S. **Hidrodinâmica costeira e quantificação do transporte longitudinal de sedimentos não coesivos na zona de surfe das praias adjacentes aos molhes da barra do rio grande, RS**. 2004. 281 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

GOOGLE EARTH PRO. Imagens de satélite. Recuperado em 16 de Julho de 2018, de <<https://earth.google.com/>>

GUERRA, A. J. T; ALMEIDA, F. G. Propriedades dos solos e análise dos processos erosivos no município de Sorriso-MT. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE O MEIO AMBIENTE. **Anais...** Cuiabá, MT, vol 1, p. 185-193, 1993.

GUIMARÃES, J. C. C. et al. Dinâmica do componente arbustivo-arbóreo de uma floresta de galeria aluvial no planalto de Poços de Caldas, MG, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 31, n. 4, p. 621-632, 2008.

GUSTAVO, H; JEAN, P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais : um desafio atual para a sobrevivência futura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 33-38, 2002.

HAAN, C. T; BARFIELD, B. J; HAYES, J. C. **Design hydrology and sedimentology for small catchments**. USA: Academic Press, 1994.

HERRERA, D. J. M. **Integração de modelos de quantidade e qualidade da água para avaliação de cargas contaminantes em afluentes de mananciais de abastecimento**. Dissertação de mestrado. Brasília: Universidade de Brasília, p. 120, 2013.

IVARSSON, H; JANSSON, M. **Hydrobiologia**. 286, p. 37, 1994.

JARDIM, W. F. Medição e Interpretação de Valores do Potencial Redox (eh) em Matrizes Ambientais. **Nova Química**. São Paulo, v. 37, n. 7, 2014.

KEAREY, P; BROOKS, M; HILL, I. **An introduction to geophysical exploration**. Oxford: Blackwell, 3ª edição, p. 262, 2002.

KIRCHMER, C. J. **Aspectos químicos y físicos de La coagulación Del agua**. CEPIS. Lima-Peru, p. 1-35, 1992.

KOPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Econômica, p. 479, 1948.

LELI, I. T. **Variação espacial e temporal da carga suspensa do rio Ivaí**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Geografia. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 66 f, 2010.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, v.1, p. 277-294, 1985.

LOUREIRO, F.E.L.; SANTOS, R.C. The intra-intrusive uranium deposits of Poços de Caldas, Brazil. **Ore Geology Reviews**, 3, p. 227-240, 1988.

MEADE, R. H. et al. Transporte de sedimentos no Rio Amazonas. **Acta Amazonica**, v. 9(3), n. 2, p. 529–547, 1979.

MOLDAN, B.; CERNÝ, J. **Biogeochemistry of Small Catchments: A Tool for Environmental Research**. Chichester. USA: John Wiley & Sons, 1994.

MORAES, F. T; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R. Fisiografia da Região do Planalto de Poços de Caldas, MG/SP. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 1, p. 196-208, 2008.

MOREIRA, C. A; BRAGA, A. C. O. Anomalias de cargabilidade em aterro de resíduos sólidos domiciliares. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, n. 1, p. 55-62, 2009.

O'CONNOR, D. J. The temporal and spatial distribution of dissolved oxygen in streams. **Water Resources Research**. Florida, v. 3, n. 1, p. 65-79, 1967.

OLIVEIRA-FILHO, A. T; JARENKOW, J. A; RODAL, M. J. N. **Floristic relationships of seasonally dry forests of eastern South America based on tree species distribution patterns**. In: PENNINGTON, R. T, 1989.

PAIVA, J. B. D. Métodos de Cálculo do Transporte de Sedimentos em Rios. **Hidrologia Aplicada a Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre. ABRH. Cap. 12, p. 313-364, 2001.

PEREIRA, M. D. et al. Hidrodinâmica e Transporte De Material Particulado Em Suspensão Sazonal Em Um Estuário Dominado Por Maré: Estuário De Caravelas (Ba). **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 28, n. 3, p. 427-444, 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE POÇOS DE CALDAS (PMPC). **Revisão do Plano Diretor**. Poços de Caldas: Secretaria de Planejamento e Coordenação, p. 178, 2006.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998.

SANDERS, A. A. **Desenvolvimento de uma metodologia, com base na teoria Fuzzy, aplicada a modelos da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e oxigênio dissolvido (OD), para calcular o risco de degradação ambiental em rios naturais.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 140 f, 2009.

SARDINHA, D. S. et al. Base de dados de desastres naturais no município de Poços de Caldas/MG: ferramenta para o planejamento e a gestão territorial. **URBE - Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 8, n. 3, 2016.

_____. Geoquímica fluvial e balanço de denudação em Tinguaitos de Poços de Caldas, Minas Gerais. **Geologia USP - Série Científica**. São Paulo, v. 18, n. 1, p. 259-272, 2018.

SCAPIN, J. **Caracterização do transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano na cidade de Santa Maria – RS.** Dissertação de mestrado. Rio Grande do Sul: Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

SOUZA, A. D. G; SOUZA, A. H. A influência da área urbana sobre a qualidade da água na bacia hidrográfica do Ribeirão dos Poços (Poços de Caldas, MG). **Holos Environment**, v. 15, n. 2, p. 139-151, 2015.

SPATTI JUNIOR, E. P. **Avaliação ambiental, caracterização da qualidade de água e transporte de sedimentos da bacia hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande (SP).** Dissertação de Mestrado. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, p. 90, 2015.

STANDARD METHODS. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 20^a ed. Washington, AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION E WATER ENVIRONMENT FEDERATION, 10. APHA-AWWA-WPCF, 1998.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion al topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n. 10, p. 1117-1142, 1952.

TEIXEIRA, V. L. I. T. D; COSTA, D. J. L; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica

e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, v. 20, p. 137-156, 2007.

THOMAZ FILHO, A; RODRIGUES, A. L. O alinhamento de rochas alcalinas Poços de Caldas-Cabo Frio (RJ) e sua continuidade na cadeia Vitória-Trindade. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 29, n. 2, p. 189-194, 1999.

VALETON, I. et al. **Supergene alteration since the upper cretaceous on alkaline igneous and metasomatic rocks of the Poços de Caldas ring complex, Minas Gerais, Brazil.** Applied Geochemistry, vol. 12, 1997.

VELOSO, H. P; RANGEL FILHO, A. L. R; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal.** Rio de Janeiro: IBGE, p. 88, 2001.

VIEIRA, R. D; KRZYZANOWSKI, F. C. **Teste de condutividade elétrica.** In: KRZYZANOWSKI, F. C. 1999.

ZACHAR, D. **Soil erosion: developments in soil science.** New York: Elsevier Scientific, 1982.

ZAINE, J. E. et al. **Estudo de caracterização geológico geotécnico aplicado ao planejamento rural e urbano do município de Poços de Caldas, MG.** Rio Claro, SP: FUNDAÇÃO DE APOIO À PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO - FUNEP, 2008.

WARD, J. V. Riverine Landscapes: Biodiversity Patterns, Disturbance Regimes, Andaquatic Conservation. **Biological Conservation**, v. 83, n. 3, p. 269-278, 1998.