

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO  
AMBIENTAL

KARLA CAMPAGNOLO

INFLUÊNCIA DOS DETRITOS LENHOSOS NA DINÂMICA FLUVIAL DE UM RIO  
DE CABECEIRA EM FLORESTA DE ARAUCÁRIA

PORTO ALEGRE

2021

KARLA CAMPAGNOLO

INFLUÊNCIA DOS DETRITOS LENHOSOS NA DINÂMICA FLUVIAL DE UM RIO  
DE CABECEIRA EM FLORESTA DE ARAUCÁRIA

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, para a obtenção do título de Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Masato Kobiyama

Porto Alegre  
2021

### CIP - Catalogação na Publicação

Campagnolo, Karla  
INFLUÊNCIA DOS DETRITOS LENHOSOS NA DINÂMICA  
FLUVIAL DE UM RIO DE CABECEIRA EM FLORESTA DE  
ARAUCÁRIA / Karla Campagnolo. -- 2021.  
141 f.  
Orientador: Masato Kobiyama.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas,  
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e  
Saneamento Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Leito de rio. 2. Zona ripária. 3. Grandes  
madeiras. 4. Large wood. I. Kobiyama, Masato, orient.  
II. Título.

KARLA CAMPAGNOLO

INFLUÊNCIA DOS DETRITOS LENHOSOS NA DINÂMICA FLUVIAL DE UM RIO  
DE CABECEIRA EM FLORESTA DE ARAUCÁRIA

Esta tese foi analisada e julgada adequada para a obtenção do título de Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

Prof. Dr. Masato Kobiyama – UFRGS  
Orientador

---

Prof. Dr. Andres Iroumé – UACH, Chile  
Examinador

---

Prof. Dr. Oscar Vicente Quinonez Fernandez – UNIOESTE  
Examinador

---

Prof. Dr. Gean Paulo Michel – UFRGS  
Examinador

Aprovado em: Porto Alegre, 16 de dezembro de 2021.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e saúde, que me permitiram chegar até aqui.

Aos meus pais, Neusa e José Carlos, por terem priorizado a nossa educação, ensinando valores que sempre levarei comigo. Às melhores irmãs, Camila e Karine, pelo apoio em todas as fases da minha vida, vocês são motivo de grande orgulho para mim. Ao Pedro, que é meu grande parceiro nessa jornada e apoiou desde sempre. Aos meus sobrinhos Eugênio e Inácio, que essa conquista seja um incentivo e exemplo para vocês. Aos meus avós, em especial ao vô Willy, meu grande amigo dessa vida. À toda minha família, muito obrigada.

Ao eterno Vinicius Ferreira Dulac (*in memoriam*), incentivador do meu doutorado no IPH. Ao meu orientador e amigo, professor Masato Kobiyama, por compartilhar da sabedoria oriental, pelos ensinamentos e paciência.

Pela oportunidade de estudar nessa instituição magnífica, a UFRGS. Desde a pré-escola até aqui tive a sorte de estudar em instituições públicas e de qualidade, e serei sempre grata. Aos professores do IPH, em especial Fernando Fan, Gean Michel e José Antônio Louzada, pela amizade e conhecimentos transmitidos durante estes anos. Ao hidrotécnico Pedro Massochin Medeiros, pela ajuda incansável e amizade que construímos. Ao motorista Cássio, obrigada pela ótima companhia!

Aos colegas do PPGRHSA, em especial os do GPDEN, por todo o apoio e incentivo, principalmente durante as tarefas de campo e no enfrentamento dos desafios da pandemia COVID-19, meus amigos Fernando, Maurício, Sofia, Danlei, Bruno, Vinícius, Fran, Clarissa, Itza, Hannah, Lais, Larissa e em especial a Marina, que colaborou muito com este trabalho. Aos queridos Hugo, Cléber, João, Zé (Thiago), Guilherme B., Dani e Benício. Aos meus presentes da Eng. Florestal, Caciara, Miriam, Rosana e Mayara. A todos os meus amigos desta vida, obrigada por participarem desta e tantas outras aventuras.

Aos servidores do Parque Nacional de Aparados da Serra agradeço pelo apoio incondicional, em especial à Eridiane, Deonir e Rodrigo, e os vigilantes Valmor, Alvim, Vieira e Fernando, que foram grandes parceiros de alojamento.

O trabalho foi realizado no âmbito de uma cooperação entre a ANA e a CAPES pelo Edital Pró-Recursos Hídricos nº 16/2017, onde recebi bolsa, e também com o apoio do ICMBio para realização do monitoramento e trabalhos de campo. A essas instituições, muito obrigada e vida longa.

*Mateando a sede do pago  
Na sonolência das margens  
Sobre um espelho de imagens  
Passa o rio tranquilamente*

...

*Debruça em sono a barranca  
desliza a balsa sonhando  
Por entre nuvens rogando  
Mistérios dos aguapés  
Nunca retorna ao caminho  
Desmaiado em suas ânsias  
Mergulha pelas distâncias  
Sem saber bem o que quer*

*Meu corpo, barca perdida  
Entre canções despraiando  
Passando no rio da vida  
Vagando, sempre vagando  
Peregrino dos caminhos  
No rumo dos horizontes  
Matando a sede da terra  
Vivendo a sede de andar*

Eu e o rio  
Noel Guarany

## RESUMO

A zona ripária é constituída pelo próprio rio e a faixa de vegetação existente no seu entorno, sendo que, quando florestada, essa vegetação produz detritos lenhosos, que modificam o ecossistema e a dinâmica fluvial. Quando constituídos principalmente por galhos e troncos, estes fragmentos de árvores são chamados de *large wood* (LW) na literatura mundial. No Brasil o manejo e a gestão de bacias hidrográficas não abrangem a influência da zona ripária também no canal do rio, de modo que os estudos com detritos lenhosos são escassos. Desta forma, buscou-se compreender as características dos detritos lenhosos e sua influência na morfologia de um rio de cabeceira, através da (i) avaliação da relação entre os detritos lenhosos e morfologia fluvial; (ii) discussão da influência da madeira sobre a dinâmica dos sedimentos e velocidade do fluxo; (iii) definição da relação entre os detritos lenhosos e modificações em seções transversais do canal; (iv) contextualização dos resultados com as técnicas de renaturalização de rios. A tese foi desenvolvida em um trecho monitorado de 750 metros de comprimento do arroio Perdizes, que fica localizado no Parque Nacional de Aparados da Serra (PNAS), no município de Cambará do Sul (RS). A metodologia consistiu na obtenção de dados hidrológicos (chuva, vazão e velocidade do fluxo), detalhamento de trecho do arroio Perdizes por meio de levantamento topobatimétrico, levantamento detalhado dos detritos lenhosos e dos sedimentos de fundo, monitoramento do talude através de seções transversais e simulação das velocidades com o modelo hidrodinâmico HEC-RAS. O monitoramento hidrológico demonstrou que a precipitação ficou abaixo da média histórica, entretanto o monitoramento das seções transversais indicou uma tendência erosiva nos taludes fluviais. A presença dos LW foi abundante antes de meandros, com uma presença marcante de LW da espécie araucária. Ao transcorrer das medições, houve uma diminuição do volume total de LW no canal e aumento da participação da araucária no total. As medições da velocidade em diferentes níveis do fluxo demonstraram a interferência do LW em microescala, pois ocorre um declínio da velocidade na sua presença, da sua ocorrência até a margem. O levantamento sedimentológico indicou que em todas as seções transversais com a presença de LW o diâmetro dos sedimentos de leito é menor, inclusive no diâmetro médio, confirmando o maior acúmulo de sedimentos de menor tamanho. Em macro escala, a simulação no HEC-RAS confirmou que em zonas de menor velocidade no canal há maior ocorrência de deposição dos LW. Os resultados permitiram uma maior compreensão da dinâmica da ecologia fluvial com a presença destes fragmentos de árvores, de modo a gerar um documento de auxílio na gestão de ambientes naturais.

**Palavras-chave:** Leito de rio. Zona ripária. Grandes madeiras.

## **INFLUENCE OF LARGE WOOD ON THE RIVER DYNAMICS OF A HEADWATER STREAM IN THE ARAUCARIA FOREST**

The riparian zone is constituted by the river and the existing vegetation strip along its surroundings, being that, when forested, this vegetation produces woody debris, which modify the ecosystem and the fluvial dynamics. These tree fragments are called large wood (LW) in the world literature, consisting mainly of branches and trunks. In Brazil, the management of hydrographic basins do not include the influence of the riparian zone in the river channel, so studies with large wood are scarce. Thus, we sought to understand the characteristics of large wood and its influence on the morphology of a headwater river, through (i) evaluation of the relationship between large wood and river morphology; (ii) discussion of the influence of wood on sediment dynamics and flow velocity; (iii) definition of the relationship between large wood and changes in the channel's transversal sections; (iv) contextualization of results with river renaturalization techniques. The thesis was developed in a monitored stretch of 750 meters of the Perdizes stream, which is located in the Aparados da Serra National Park (PNAS) in Cambará do Sul (RS). The methodology consisted of obtaining hydrological data (rainfall, flow and flow velocity), detailing the Perdizes stream section through topographic survey, detailed survey of large wood and bottom sediments, monitoring of the slope through transversal sections and simulation of speeds with HEC-RAS. The hydrological monitoring showed that precipitation was below the historical average, however the monitoring of the transversal sections indicated an erosive trend in the river slopes. The presence of LW was abundant before meanders, with a marked presence of LW from the Araucaria species. During the measurements, there was a trend towards a decrease in the total volume of wood in the channel and an increase in the participation of araucaria in the total. Flow velocity measurements at different levels demonstrated LW interference on a microscale, as the velocity declines in its presence, from its occurrence to the margin. The sedimentological survey indicated that in all cross sections with the presence of LW the diameter of the bed sediments is smaller, including in the average diameter, confirming the greater accumulation of smaller sediments. On a macro scale, the simulation in HEC-RAS confirmed that in zones of lower velocity in the channel there is a greater occurrence of LW deposition. The results allowed a greater understanding of the dynamics of fluvial ecology with the presence of these tree fragments, in order to generate a document to help in the management of natural environments.

**Keywords:** Riverbed. Riparian Zone. Large Wood.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Morfologias do canal fluvial: (A) canal em cascata, com fluxo turbulento em torno de blocos e matacões; (B) <i>step-pool</i> , com fluxo sequencial turbulento antes e depois dos degraus e lento nas piscinas; (C) <i>plane-bed</i> , leito plano com fluxo uniforme; (D) <i>pool-riffle</i> , fluxo altamente turbulento em soleiras e lento nas piscinas; e (E) <i>dune-ripple</i> , leito móvel com formas de dunas. ....	37
Figura 2 - Perfis transversal e longitudinal, respectivamente, de uma sequência <i>step-pool</i> . ....	39
Figura 3 - Formação de <i>step-pool</i> em riachos através da presença de detritos lenhosos no canal. ....	40
Figura 4 - Morfologia do canal em função das condições da bacia hidrográfica, considerando <i>dune-ripple</i> , <i>pool-riffle</i> , <i>plane-bed</i> , <i>step-pool</i> , <i>cascade</i> , e <i>colluvial</i> . ....	42
Figura 5 - Características do canal do rio influenciadas pelas interações entre água, sedimento e madeira, sendo que modo* refere-se apenas ao regime de madeira. ...	43
Figura 6 - Vista panorâmica de um projeto de renaturalização de rio. ....	45
Figura 7 – Exemplos de serviços ecossistêmicos fornecidos pela vegetação ripária. ....	47
Figura 8 - Fisionomia da Floresta de Araucária no Parque Nacional de Aparados da Serra. ....	54
Figura 9 - Fluxograma da metodologia utilizada na tese. ....	55
Figura 10 - Localização geral da bacia do arroio Perdizes, sub-bacia do rio Perdizes, e os limites do Parques Nacionais. ....	57
Figura 11 – Mapa da bacia do arroio Perdizes (A) e detalhamento do relevo com carta do exército (B). ....	59
Figura 12 - Fisionomia da paisagem na bacia do arroio Perdizes (A); e foz do arroio Perdizes no rio Água Comprida, formando o rio Perdizes (B). ....	60
Figura 13 - Perfil longitudinal do arroio Perdizes desde sua nascente até a foz. ....	61
Figura 14 - Estação Meteorológica instalada próximo à foz da bacia do rio Perdizes (A) e detalhe da placa informativa (B). ....	63
Figura 15 - Medição de vazão no rio Perdizes utilizando ADCP. ....	64
Figura 16 - Medição de vazão no arroio Perdizes utilizando Micromolinetete. ....	65
Figura 17 – Localização das estações e do trecho analisado do arroio Perdizes e suas subdivisões. ....	66

Figura 18 - Levantamento topográfico do arroio Perdizes utilizando Estação Total. .	67
Figura 19 - Localização das seções transversais monitoradas no arroio Perdizes. ..	68
Figura 20 - Monitoramento de seção transversal demarcada com estaca no arroio Perdizes. ....	69
Figura 21 - Perfis transversais utilizados para medição da velocidade média sob diferentes níveis. ....	70
Figura 22 – Localização das seções transversais utilizadas para análise dos sedimentos de fundo. ....	72
Figura 23 - Grade de amostragem de sedimentos de fundo em trecho em um rio. ..	73
Figura 24 – Levantamento dos sedimentos de fundo em seções no arroio Perdizes. ....	74
Figura 25 – Separação e análise dos sedimentos arenosos no LabSed-IPH (UFRGS). ....	74
Figura 26 – Definição dos parâmetros para medição de detritos lenhosos no canal.	76
Figura 27 – Medição de LW no arroio Perdizes utilizando suta florestal. ....	77
Figura 28 - Identificação de LW da espécie <i>Araucaria angustifolia</i> no arroio Perdizes. ....	78
Figura 29 - Categorias utilizadas para definição da orientação dos LW no arroio Perdizes. ....	78
Figura 30 - Demarcação do LW com GPS RTK, no ponto a montante em relação ao fluxo.....	79
Figura 31 – Precipitação mensal observada* na bacia do rio Perdizes.....	81
Figura 32 - Curva-chave para estimativa de vazão no rio Perdizes, onde o ponto amarelo representa a extrapolação calculada pela Equação (2).....	82
Figura 33 – Hietograma e hidrograma diário do rio Perdizes, onde as barras vermelhas são falhas na série.....	82
Figura 34 – Relação entre as vazões do rio Perdizes e do arroio Perdizes. ....	83
Figura 35 – Vista do arroio Perdizes em um nível alto, registrado no dia 28/05/19 às 10h da manhã*. Coordenadas -29.157538°, -50.078240° (Datum Sirgas 2000).....	84
Figura 36 – Hidrograma do arroio Perdizes a partir da relação entre as bacias hidrográficas, sendo que as barras vermelhas são falhas na série.....	84
Figura 37 - Início do levantamento topográfico na foz do arroio Perdizes, em março de 2018. ....	85
Figura 38 - Perfil longitudinal do canal, no trecho monitorado do arroio Perdizes.....	85

Figura 39 - Mapeamento das principais unidades de canal no trecho em estudo, com detalhamento fotográfico.....	86
Figura 40 – Monitoramento da estabilidade de seções transversais com LW, ao longo de 15 meses: (A) Seção A; (B) seção B; (C) seção C; e (D) seção D. ....	88
Figura 41 - Modificações na área molhada nas seções monitoradas.....	90
Figura 42 - Acumulações temporárias de LW no canal do arroio Perdizes.....	91
Figura 43 – Orientação* dos LW no arroio perdizes, em %, onde (1) representa paralela (2) perpendicular e (3) (4) oblíquas; sendo (A) trecho inicial, (B) trecho médio, (C) trecho final. ....	93
Figura 44 – Demonstração da tendência de estabilidade entre as medições de detritos lenhosos, onde: (A) abundância; (B) volume; e (C) origem dos LW medidos. ....	94
Figura 45 – Distribuição de todos os LW, referente ao diâmetro (A) e comprimento (B) medidos em diferentes períodos. ....	96
Figura 46 – Distribuição das frequências de LW segundo diâmetro e comprimento medidos, divididos pelos trechos, em diferentes dias, sendo eles: 10/07/19 (A e B); 19/11/19 (C e D); 24/07/20 (E e F) e 18/12/20 (G e H). ....	96
Figura 47 – Distribuição de todos os LW, nos 4 levantamentos, separados pela origem, referente ao diâmetro (A) e comprimento (B) medidos.....	99
Figura 48 - Perfis transversais (linha laranja) indicando velocidade média (barras azuis) e os pontos com LW (círculo verde), sob diferentes níveis*, onde (A) final de <i>step-pool</i> ; (B) final de área de acumulação; (C) início de área de acumulação e (D) antes de área com acumulação de LW; e MD = Margem Direita e ME = Margem esquerda. ....	103
Figura 49 – Fator de atrito e relação com a velocidade média em perfis com LW. .	105
Figura 50 - Simulação* das velocidades no canal (m/s) na cheia ocorrida no dia 28/05/19 e dispersão das peças de LW (pontos marrons) na medição do dia 10/07/2019. ....	107
Figura 51 – Simulação* das velocidades no canal (m/s) no maior nível de cheia estimado no arroio Perdizes, durante o período monitorado, ocorrido no dia 08/07/20, e dispersão das peças de LW (pontos marrons) na medição do dia 24/07/2020. ....	109
Figura 52 – Distribuição granulométrica das seções com e sem LW, sendo: $D_{10}$ (A), $D_{16}$ (B), $D_{50}$ (C), $D_{84}$ (D) e $D_{90}$ (E).....	111

Figura 53 - Resistência aos grãos $fg$ (Equação de Keulegan) dos sedimentos de fundo em seções transversais com e sem LW no arroio Perdizes. ....	112
Figura 54 – Distribuição granulométrica das seções dos sedimentos de fundo separadas por geomorfologia fluvial, sendo <i>cascade</i> (A); piscina (B) e <i>step-pool</i> (C). .....	113
Figura 55 - Curvas granulométricas das seções com areia em seções em: <i>cascade</i> (A); início de piscina (B); meio da piscina (C) e fim da piscina (D); onde o $d_{50}$ está demarcado em laranja; S = seção e P = ponto; somente a Seção 25 é sem LW....	114
Figura 56 - Localização das peças individuais de LW (pontos vermelhos); referente à 1ª medição (A); 2ª medição (B); 3ª medição (C) e 4ª medição (D). ....	116
Figura 57 - Projeto simples de introdução de LW em canal fluvial. ....	119
Figura 58 – Persistência de LW no canal do arroio Perdizes. ....	120



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Levantamento dos trabalhos sobre detritos lenhosos no Brasil. ....	50
Tabela 2 – Detalhamento dos trechos analisados no arroio Perdizes (RS). ....	87
Tabela 3 – Estabilidade das margens do arroio Perdizes através da variação do Índice de Forma do Canal ( $\Delta F$ ). ....	89
Tabela 4 – Abundância, diâmetro e comprimento médio, volume total e origem dos LW existentes em trecho do arroio Perdizes. ....	92
Tabela 5 – Levantamento dos LW nos trechos do arroio Perdizes, separado por origem do indivíduo, durante 17 meses, onde Ar = araucárias e De = decíduas. ....	98
Tabela 6 – Matriz de correlação de Pearson* para variáveis observadas, onde $d$ = diâmetro, $L$ = comprimento e $Vol$ = volume. ....	100
Tabela 7 – Resumo do levantamento de LW no arroio Perdizes (RS). ....	101

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADCP	<i>Acoustic Doppler Current Profiler</i>
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APP	Área de Preservação Permanente
BDiA	Banco de Dados de Informações Ambientais
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CHa	Cambissolos Húmicos Alumínicos
CPOM	<i>Coarse Particulate Organic Matter</i>
CWD	<i>Coarse Woody Debris</i>
DAP	Diâmetro a altura do peito
GPDEN	Grupo de Pesquisas em Desastres Naturais
GPS RTK	<i>Global Position System - Real Time Kinematic</i>
GUT	<i>Geomorphic Unit Tool</i>
HEC-RAS	<i>Hydrologic Engineering Center - River Analysis System</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IPH	Instituto de Pesquisas Hidráulicas
LABSED	Laboratório de Sedimentos
LEVEG	Laboratório de Ecologia Vegetal
iRIC	<i>International River Interface Cooperative</i>
LW	<i>Large Wood</i>
LWD	Grandes Detritos Lenhosos
MDT	Modelo Digital de Elevação
PNAS	Parque Nacional de Aparados da Serra
PNPSA	Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais
PNSG	Parque Nacional da Serra Geral
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
RS	Estado do Rio Grande do Sul
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SISBIO	Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade
SWD	Pequenos Detritos Lenhosos
TDS	Sólidos dissolvidos totais
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
WD	<i>Woody Debris</i>
WDJ	<i>Woody Debris Jams</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Unidade</b>
©	Copyright - todos os direitos reservados	adimensional
$A$	Maior diâmetro do sedimento	mm
$A_m$	Área molhada	m <sup>2</sup>
$A_T$	Área total do fluxo	m <sup>2</sup>
$B$	Diâmetro intermediário do sedimento	mm
$C$	Menor diâmetro do sedimento	mm
$D_{10}$	Diâmetro correspondente a 10% da distribuição cumulativa	mm
$D_{16}$	Diâmetro correspondente a 16% da distribuição cumulativa	mm
$D_{50}$	Diâmetro mediano do material de leito	mm
$D_{84}$	Diâmetro correspondente a 84% da distribuição cumulativa	mm
$D_{90}$	Diâmetro correspondente a 90% da distribuição cumulativa	mm
$d$	Diâmetro da madeira	m
$DAP$	Diâmetro a altura do peito	m
$De$	Densidade da madeira	g/cm <sup>3</sup>
$D_{mp}$	Profundidade média do canal	m
$d_n$	Diâmetro nominal	mm
$F$	Índice de forma do canal	unidade
$f$	Fator de atrito de Darcy-Weisbach	unidade
$ff$	Fator de forma	adimensional
$f_g$	Fator de atrito referente aos grãos	unidade
$g$	Aceleração gravitacional	m/s <sup>2</sup>
$H$	Altura da árvore	m
$\Delta H$	Desnível	m
$h$	Nível	m
$\bar{h}$	Profundidade média do perfil	m
$I$	Declividade	m/m
$k_s$	Altura de rugosidade	mm
$L$	Comprimento da madeira	m
$L_t$	Comprimento real do talvegue	m
$L_v$	Comprimento em linha reta	m
$n$	Coefficiente de rugosidade de Manning	m <sup>-1/3</sup> .s
$Q$	Vazão	m <sup>3</sup> /s
$q_l$	Fluxo lateral por unidade de comprimento	m <sup>2</sup> /s

$r$	Coeficiente de correlação linear de Pearson	adimensional
$R_h$	Raio hidráulico	m
$S$	Sinuosidade	m/m
$S_f$	Declividade da linha de energia	m/m
$S_o$	Declividade do fundo	m/m
$t$	tempo	s
$T_c$	Tempo de concentração	minutos
$V$	Volume de madeira	m <sup>3</sup>
$Vel$	Velocidade média	m/s
$W_{mp}$	Largura do canal em nível de margens plenas	m
$\Delta x$	Intervalo entre os perfis no modelo	m

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>23</b>
3.1	NOMENCLATURA E ASPECTOS GERAIS .....	23
3.2	PRINCIPAIS ENFOQUES DOS ESTUDOS DE DETRITOS LENHOSOS .....	26
3.2.1	<b>Mapeamento.....</b>	<b>26</b>
3.2.2	<b>Hidrodinâmica.....</b>	<b>29</b>
3.2.3	<b>Modelagem .....</b>	<b>30</b>
3.2.3.1	<b>Balanço (<i>Budget</i>).....</b>	<b>31</b>
3.2.3.2	<b>Modelagem Computacional.....</b>	<b>31</b>
3.2.3.3	<b>Modelagem física em laboratório.....</b>	<b>34</b>
3.2.3.4	<b>Modelagem física em campo.....</b>	<b>35</b>
3.3	CLASSIFICAÇÃO DOS RIOS E SUAS FORMAÇÕES.....	36
3.3.1	<b>Formação <i>step-pool</i> e detritos lenhosos.....</b>	<b>38</b>
3.3.2	<b>Formação <i>dune-ripple</i> e detritos lenhosos.....</b>	<b>41</b>
3.4	INFLUÊNCIA DOS LW NA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	42
3.4.1	<b>Subsídios ao manejo de rios .....</b>	<b>43</b>
3.4.2	<b>Serviços ecossistêmicos pelos LW .....</b>	<b>46</b>
3.4.3	<b>Influência em desastres naturais .....</b>	<b>48</b>
3.5	ESTUDOS SOBRE DETRITOS LENHOSOS NO BRASIL .....	50
3.6	A FLORESTA DE ARAUCÁRIA.....	53
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>55</b>
4.1	ÁREA DE ESTUDO.....	56
4.2	MONITORAMENTO HIDROLÓGICO.....	62
4.3	CARACTERIZAÇÃO DO ARROIO PERDIZES .....	65
4.3.1	<b>Influência na velocidade do fluxo .....</b>	<b>69</b>
4.3.2	<b>Simulação das velocidades com o HEC-RAS .....</b>	<b>70</b>
4.3.3	<b>Levantamento dos sedimentos de leito.....</b>	<b>72</b>
4.4	LEVANTAMENTO DOS DETRITOS LENHOSOS.....	75
4.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	80

<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>81</b>
5.1	CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA .....	81
5.2	CARACTERIZAÇÃO DO ARROIO PERDIZES .....	85
5.3	DETRITOS LENHOSOS NO ARROIO PERDIZES.....	90
5.3.1	<b>Velocidade do fluxo e detritos lenhosos .....</b>	<b>102</b>
5.3.2	<b>Dinâmica dos LW e sedimentos .....</b>	<b>110</b>
5.3.3	<b>Dispersão dos LW ao longo do canal .....</b>	<b>115</b>
5.4	RECOMENDAÇÕES AO MANEJO DE DETRITOS LENHOSOS.....	118
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>123</b>
	REFERÊNCIAS.....	126
	APÊNDICE A .....	140
	APÊNDICE B .....	141

## 1 INTRODUÇÃO

A região da bacia hidrográfica que envolve o rio e seu entorno é denominada de zona ripária ou ecossistema ripário. A zona ripária é uma região modificada constantemente ao longo do tempo e seus limites laterais englobam toda a planície de inundação e não são facilmente determinados na paisagem. Essa área varia em função do clima, da geologia e dos solos da região (KOBAYAMA et al., 2020).

Os processos geomorfológicos, biológicos, hidrológicos e ecológicos, e as interações entre eles, são intensos e complexos na zona ripária e influenciam o ecossistema fluvial (DIAS; THOMAZ, 2011). As interações entre o rio e sua planície de inundação também exercem um domínio sobre a morfologia fluvial, o potencial de resposta da bacia e a qualidade e a diversidade do habitat desses locais (BUFFINGTON; MONTGOMERY, 2013).

A zona ripária interfere na quantidade e na qualidade da vazão no rio. Quando florestada, esse componente influencia na compartimentação da chuva por meio dos processos de interceptação pela copa, escoamento pelo tronco e chuva interna, o que contribui para o aumento da infiltração e água no solo e para a redução do escoamento superficial. As árvores também contribuem para a absorção e ciclagem de nutrientes do solo, pelos exsudatos liberados pelas raízes ou pela decomposição da serapilheira, o que influencia na variação temporal da concentração de nutrientes no sistema. Ainda, o crescimento e desenvolvimento florestal na zona ripária contribui para a queda direta de fragmentos vegetais no rio.

Os detritos lenhosos são partes de árvores, como galhos e troncos, ou até mesmo árvores inteiras, que caem no leito do rio, ou são transportados até ele, e modificam os processos fluviais, representando assim um componente-chave da ligação entre a zona ripária e o canal (SEO; NAKAMURA; CHUN, 2010). Esses detritos eram chamados de *woody debris* (WD) mas, recentemente, têm sido denominados de *large wood* (LW), como fizeram nas revisões sobre o tema Kramer e Wohl (2017) e Swanson et al. (2021).

Os LW são parte de um contínuo de material vegetal alóctone que pode formar barramentos em várias escalas, liberando nutrientes (pela decomposição) e compondo assim habitat para espécies aquáticas (USBR; ERDC, 2016). Essas são as principais implicações ecológicas proporcionadas pelos LW. Outro efeito está

relacionado ao meio físico, ao alterar as características do escoamento, a dinâmica dos sedimentos e a evolução da paisagem.

Esses fragmentos lenhosos presentes nos rios, provenientes da zona ripária, podem alterar os processos que controlam a morfologia do canal (EATON; HASSAN; DAVIDSON, 2012). Um dos fatores é que o acúmulo de LW no canal do rio proporciona a formação de escadas e piscinas junto ao leito e a criação do sistema geomorfológico denominado *step-pool* (HOGAN; LUZI, 2010), também chamado de degrau-poço. Além disso, a presença de LW no rio providencia habitat para peixes (BAILLIE et al., 2013), através da formação de piscinas e retenção de sedimentos orgânicos, sendo uma difundida técnica natural de baixo custo para renaturalização de rios (PINTO; AGRA; FURLEY, 2017).

A inserção de madeira no canal de rios degradados é uma prática popular e incentivada em vários países da Europa, principalmente no Reino Unido (ECRR, 2021), de forma que essas metodologias para renaturalização de rios são embasadas no conhecimento da dinâmica dos LW dispersos naturalmente.

Os LW podem atuar também de forma eficaz em projetos de bioengenharia, pois influenciam, por exemplo, na recuperação de margens degradadas. Experimentos em canal artificial realizados por Bertoldi et al. (2015) confirmaram que a vegetação pode conferir estabilidade às margens dos rios, reduzindo significativamente a erosão, confirmando a influência das árvores no ecossistema e confirmando que a conservação da floresta deve ser incorporada na gestão de rios.

As atividades antrópicas ao longo da zona ripária alteram drasticamente o fornecimento de LW para o rio, o que modifica o equilíbrio natural e aumenta os riscos de inundações e os danos a infraestruturas, como pontes (GHAFFARIAN et al., 2020). Quando danificam pontes, por exemplo, os LW podem potencializar a ocorrência de um desastre ambiental. Desta forma, a preservação da zona ripária e a criação de soluções baseadas na natureza para problemas locais são estratégias promissoras para reduzir o risco de desastres, se adaptar às mudanças climáticas e fortalecer a resiliência da comunidade (ARCE-MOJICA et al., 2019).

O regime natural da madeira, juntamente com o fluxo natural do rio e os regimes de sedimentos fazem parte de um tripé de processos físicos que apoiam a ciência e o manejo fluvial (WOHL et al., 2019). No Brasil, poucos estudos são realizados para enfatizar a importância da conservação da zona ripária, desconsiderando assim a vasta rede fluvial brasileira, extensas áreas florestadas e,



inclusive, legislação federal vigente para sua preservação, como é o caso da Lei nº 12.651/2012, chamada “Lei de Proteção da Vegetação Nativa” (BRASIL, 2012), que estabelece as regras para uso e conservação. Desta forma, é de extrema importância difundir esse conhecimento e valorizar os processos e interações que ocorrem junto ao rio, sendo uma deficiência evidente.

Conforme destacaram Hughes e Thoms (2002), a maioria dos estudos que observaram a distribuição e as modificações causadas por LW na geomorfologia fluvial, como desvio do fluxo, criação de piscinas e retenção de sedimentos, foram desenvolvidos em bacias com maior declividade. Em bacias menos declivosas, os trabalhos ainda são incipientes, o que ressalta ainda mais a importância da realização deste estudo. Benda e Sias (2003) afirmaram que ao longo dos anos as pesquisas identificaram alguns processos como fundamentais e controladores da abundância e distribuição dos LW em rios, incluindo mortalidade natural da vegetação, crescimento da floresta ripária, erosão das margens e transporte fluvial.

Desta forma, sabendo que, no Brasil, o manejo e a gestão de bacias hidrográficas não abrangem a influência da zona ripária com floresta e seus processos também dentro do canal do rio, busca-se conhecer a influência dos detritos lenhosos na dinâmica de um rio de cabeceira localizado em Floresta de Araucária, no sul do Brasil. Quando há a ocorrência de LW, quais as características morfológicas destes fragmentos, e qual a importância da araucária nesse contexto fluvial? E ainda, como esse material lenhoso pode alterar o fluxo deste rio? Estes e outros questionamentos nortearam a realização deste estudo, realizado em um parque nacional, de forma a demonstrar o mais fielmente possível os processos em ambiente natural.

## 2 OBJETIVOS

O objetivo geral é compreender as características dos detritos lenhosos e suas funções e influência na dinâmica de rios de cabeceira, por meio do monitoramento no canal do arroio Perdizes (Cambará do Sul/RS), localizado em Floresta de Araucária e ambiente altamente preservado. Para alcançar o objetivo geral, buscou-se os seguintes objetivos específicos:

- avaliar a relação entre os detritos lenhosos e morfologia fluvial;
- verificar a influência da madeira sobre a dinâmica dos sedimentos e da velocidade do fluxo;
- definir a relação entre os detritos lenhosos e modificações em seções transversais do canal;
- contextualizar os resultados com as técnicas de renaturalização de rios.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 NOMENCLATURA E ASPECTOS GERAIS

A compreensão do funcionamento de um canal fluvial envolve uma série de fatores, e conforme Montgomery e MacDonald (2002), os principais estão relacionados com a sua carga sedimentar, a capacidade de transporte, presença de obstruções de fluxo (como LW) e vegetação ripária. Essa compreensão permite prever potenciais respostas do rio, o que depende de uma avaliação da influência atual e futura de cada um desses fatores principais.

Em relação aos LW, quatro conferências “*Wood in World Rivers*” foram realizadas até hoje para compreender e discutir aspectos da madeira nos rios. A primeira conferência foi realizada em 2000 na Oregon State University (EUA). Essa conferência buscou sintetizar o conhecimento da dinâmica e das interações ecológicas de LW em rios de diferentes regiões geográficas, identificar sistemas de gestão para LW e avaliar as respostas físicas e biológicas dessa madeira na restauração fluvial. A segunda Conferência aconteceu em 2006 na Universidade de Stirling, na Escócia, a terceira em 2015 em Padova, na Itália, e a quarta foi realizada em Valdivia, no Chile, em 2019 (WOHL; IROUME, 2021).

Com foco nas árvores caídas no canal, sabe-se que na literatura existe uma série de nomenclaturas utilizadas em referência a este tema, o que faz necessidade de esclarecimento para evitar equívocos na análise dos trabalhos. Além de *woody debris* e *large wood*, pode-se encontrar, por exemplo, *large woody debris* (LWD) ou *small woody debris* (SWD), considerando assim o tamanho da peça, *woody debris jams* (WDJ), referente a acumulações (ou barramentos), ou ainda *coarse woody debris* (CWD).

Em relação à sua abundância, os LW podem estar dispostos como peças individuais ou formando acumulações. As peças das acumulações são classificadas como sendo de três tipos: membros-chave, referindo-se às peças que servem como obstáculo que retém outros detritos; membros suportados (peças alojadas) e membros soltos (que preenchem os espaços vazios) (ABBE; MONTGOMERY, 2003). Este tipo de classificação exige experiência por parte do pesquisador.

Ocorre ainda uma tendência entre os pesquisadores em analisar diâmetro e comprimento dos LW, com obtenção da volumetria das peças e volume total em

comprimento de leito, tal como Chen et al. (2013), Baillie et al. (2008) e Comiti et al. (2006). Sobre o curso d'água, é comum a aquisição de dados como declividade e sinuosidade do leito, e assim relacionar esses fatores com a abundância desses detritos. Os principais mecanismos de avaliação utilizados são topografia, imagens de satélite, georreferenciamento dos LW e monitoramento da evolução dos barramentos.

O destaque deste tema no meio acadêmico pôde ser observado a partir da década de 70, ressaltando o trabalho de Keller e Swanson (1979). Nos EUA, o interesse ocorreu inicialmente devido a campanhas de remoção de madeiras para melhorar a navegação em rios (MONTGOMERY; PIÉGAY, 2003).

No Brasil, essa questão também é de extremo interesse, pois o desassoreamento de rios é prática comum e a mesma inclui a retirada dos sedimentos de grande porte, como troncos ou árvores inteiras, sem considerar todas as consequências ambientais que esse processo envolve. Apesar disso, os estudos nesta temática são escassos no cenário nacional. Os biomas brasileiros possuem grande diversidade de espécies vegetais e, desta forma, há diferentes aportes de fragmentos e distintas suscetibilidades à decomposição, fatores determinantes das características e permanência das acumulações (BINDA; FERNANDEZ, 2011a), e ainda pouco explorados.

O desassoreamento, portanto, é um procedimento de dragagem do leito do rio. Entretanto, a causa das enchentes não se resume ao rio e está associada também ao volume de chuvas, ao escoamento superficial, à impermeabilização do solo, às condições dos tributários, entre outros. A realização de obras de desassoreamento constitui uma ação drástica e paliativa, uma vez que não atinge a causa do problema (SMITH et al., 2019).

A identificação e restauração do regime natural da madeira para os rios podem criar benefícios físicos e ecológicos substanciais, apesar destes efeitos terem sido amplamente negligenciados (WOHL et al., 2019). Os principais motivos são a falta de madeira em abundância nestes locais, reflexo da remoção ativa de madeira dos rios, do recrutamento reduzido associado à mudança da cobertura do solo e percepções errôneas relacionadas a desassoreamento.

Na década de 90, Nakamura e Swanson (1993) observaram que os efeitos dos LW na morfologia do canal e no armazenamento de sedimentos variavam conforme a largura do rio. Ainda, Nagasaka e Nakamura (1999) concluíram que a temperatura

máxima da água no rio analisado aumentou de 22°C para 28°C, e o volume e número de peças de madeira substancialmente diminuiu com a canalização do rio e corte da floresta associada, relacionado assim os usos antrópicos da bacia com o estudo de LW.

Em trabalho semelhante realizado na Itália, Ravazzolo et al. (2015) constataram que informações quantitativas e qualitativas sobre LW ajudam a elucidar a interferência das pressões humanas na bacia hidrográfica, e ainda recomendam que mais atenção deve ser dada para as interações entre o acúmulo de peças de madeira, vegetação em pé e dinâmica de canal.

Galia et al. (2018) afirmam que o efeito dos LW nos processos hidrogeomorfológicos de um rio depende das dimensões desses detritos e do canal, bem como da composição florestal na zona ripária. Wohl (2011a) também chegou a essa conclusão, pois observou que florestas com maior área basal geravam maior recrutamento de LW. Desta forma, cada ecossistema (dependendo do bioma em que está inserido) responde de uma forma particular à presença desses detritos.

Alguns estudos sobre LW demonstraram diferentes tendências para levantamento dos dados. As conclusões descritas por Atha (2014), por exemplo, foram que o Google Earth, uma ferramenta online gratuita, pode fornecer os dados necessários para se determinar o papel dos LW na transformação de canais, mesmo havendo limitações em relação à qualidade da imagem exportada e sua utilização em aplicações mais robustas de sensoriamento remoto. Entretanto, essa ferramenta é útil apenas para rios onde a floresta não encobre a imagem do canal. Novas ferramentas são essenciais, buscando assim desenvolver também no Brasil uma gestão de bacias hidrográficas que considera a influência da floresta dentro do rio.

Para investigação do comportamento desses fragmentos, muitos autores estimaram a volumetria de madeira existente em trechos de 100 metros no canal, o que permite observar gradientes de entrada de LW, tal como Costigan e Daniels (2013), Baillie e Davies (2002) e Wohl (2011b).

Ainda, há uma tendência em observar o comportamento de diferentes tipos de vegetação ripária (nativa ou exótica, por exemplo) frente ao seu fornecimento de LW (COSTIGAN; DANIELS, 2013). Brooks et al. (2003) observaram que o tipo de vegetação ripária influenciava a largura do canal, sendo que em área de fazendas, a média da largura das seções do canal foi maior que em área com floresta nativa.

Esse resultado pode ser utilizado para comprovação da importância da manutenção de áreas ripárias protegidas, como determina a legislação brasileira através da APP (Área de Preservação Permanente) de rios. Neste sentido, Boyer et al. (2003) confirmam que, em uma bacia hidrográfica, a vegetação ripária faz a conectividade do rio com sua várzea, afetando as taxas de vazão, de migração de canais e a troca de nutrientes entre os fluxos superficiais e subsuperficiais. Esses fatores afetam diretamente a dinâmica das comunidades ribeirinhas.

Desta forma, a remoção da vegetação ripária e seu impacto como fonte de entrada de LW no rio reduz a capacidade do canal de armazenar sedimentos e prolonga assim o tempo para sua restauração (HOGAN; LUZI, 2010). Assim, o conhecimento e o acompanhamento da vegetação ripária são necessários para interpretar a condição de um rio em relação a estados passados e potenciais (MONTGOMERY; MACDONALD, 2002).

### 3.2 PRINCIPAIS ENFOQUES DOS ESTUDOS DE DETRITOS LENHOSOS

O estudo dos detritos lenhosos fornece indicadores sobre habitat, a diversidade estrutural dentro da zona ripária, retenção de carbono nos LW e o armazenamento e a reciclagem de nutrientes na bacia hidrográfica. Atualmente, observa-se três tipos de objetivos na análise da influência dos LW na morfologia e na sedimentologia de canais fluviais, sendo os enfoques mais comuns relacionados a seguir.

#### **3.2.1 Mapeamento**

Neste tipo de abordagem, há um levantamento dos LW existentes no trecho de rio analisado e os mesmos são medidos e geolocalizados, para reconhecimento da abundância deste material, e algumas vezes também é feita sua classificação.

Conhecer o tamanho médio dos LW é importante para reconhecer neles as características da vegetação ripária. Desta forma, cada tipo de vegetação deve fornecer uma carga diferente de madeira. Além disso, as peças de LW percorrem longas distâncias durante os períodos de cheia, principalmente quando o nível extrapola o leito normal, e seu comprimento total é o principal fator que rege esse transporte (IROUMÉ et al., 2018).

Destaca-se o trabalho realizado pelos órgãos governamentais e pesquisadores nos EUA. Gomi et al. (2003), no Alasca, descreveram a geometria de degraus em canais de rios, formados por LW, seixos e rochas em diferentes regimes de manejo e perturbação. Para essa análise, a metodologia incluiu a medição do diâmetro a altura do peito (DAP) e composição das espécies vegetais em parcelas ao longo da faixa ripária, relacionando-a diretamente com os detritos no canal.

Em trabalho similar também nos EUA, Magilligan et al. (2008) buscaram estabelecer as condições para a distribuição, abundância e função dos LW nos rios. Para isso, cada LW com mais de 10 cm de diâmetro médio foi identificado e medido, no canal e na zona ripária, no trecho de rio avaliado. Para cada barramento, verificou-se se o mesmo estava associado ao armazenamento de sedimentos, e cada peça de LW foi demarcada com o Sistema de Posicionamento Global (GPS) para ser incorporada a uma base de dados no Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Essa demarcação geográfica é fundamental para avaliar a permanência do material no sistema, bem como a mobilidade. Mediante pesquisas no EUA, Wohl (2011a) concluiu que em rios íngremes e estreitos, provavelmente o barramento persistirá no rio por, no máximo, 10 anos. Chen et al. (2013) também caracterizaram a distribuição espacial e distribuição acumulativa dos LW e demonstraram o transporte dos mesmos (mobilidade e relação com o fluxo) em rios íngremes de Taiwan.

O movimento da madeira pelo canal também depende da sua flutuabilidade, fator que está diretamente relacionado com a densidade da madeira, sendo este um dos principais parâmetros no controle do movimento inicial e do mecanismo de transporte da madeira (RUIZ-VILLANUEVA et al., 2016a).

Seguindo a estratégia de mapeamento, mas com um diferente enfoque, Baillie et al. (2008) descreveram e quantificaram a distribuição espacial de LW em uma bacia florestal, determinando sua influência na morfologia do canal. Mediram o volume das peças, orientação e posição no canal. Galia et al. (2018) também observaram a orientação das peças em relação ao fluxo. Essa informação é importante quando se deseja, por exemplo, colocar troncos de madeira artificialmente em um rio degradado e assim aplicar técnicas de renaturalização, pois dependendo da orientação no canal, pode haver maior ou menor retenção de sedimentos.

Observou-se que a maioria dos estudos que objetivam o mapeamento de LW utilizaram a definição de diâmetro mínimo em 10 cm (ABBE; MONTGOMERY, 2003; ANDREOLI et al., 2007; COMITI et al., 2008; e GALIA et al., 2018) e comprimento maior que 1 metro (por exemplo, MAGILLIGAN et al., 2008 e IROUMÉ et al., 2015). Com relação aos materiais menores, estes podem ser analisados como Matéria Orgânica Grossa Particulada (e inglês, CPOM), que são partículas como folhas, galhos, flores, sementes e frutos existentes no canal. Estes materiais também influenciam o fluxo, são fonte de alimento para peixes e contribuem para o total de carbono exportado pelo ecossistema, valor raramente quantificado em riachos de florestas subtropicais, mas realizado por Iroumé et al. (2020).

A tendência de definição do diâmetro mínimo do LW em 10 cm provavelmente ocorre porque maioria dos primeiros estudos estavam relacionados com coníferas, que tendem a se quebrar em pedaços quase cilíndricos, sendo fácil a aplicação de métricas simples de tamanho de limiar (GURNELL, 2013). Hassan et al. (2005) observaram que outros diâmetros (de 8 a 20 cm, e comprimentos de 0,5 a 3 m) foram adotados em vários estudos, tratando-se de uma definição desafiadora quando ocorrem raízes, galhos ou troncos de espécies decíduas, por exemplo.

Swanson et al. (2021), em revisão sobre o tema, destacaram que a maioria dos estudos examinaram as influências ecológicas e geomórficas de grandes madeiras, e que abordar outras lacunas, como tamanhos menores (<1 m de comprimento e 10 cm de diâmetro) ou atenção à dinâmica e funções da madeira em várzeas pode ser difícil pela necessidade de colaboração interdisciplinar, além dos tipos de madeira, rios, regiões e culturas serem globalmente diversos.

As barragens criadas por castores formam um subconjunto particular de madeira dentro nos sistemas fluviais. Embora as peças individuais de madeira dentro dessas barragens possam ser menores do que o limite de tamanho citado acima, a presença deste tipo de barragem cria efeitos físicos e ecológicos semelhantes àqueles associados a grandes LW (WOHL, 2015).

Mao et al. (2008) observaram que apesar do número total de LW (com as mesmas dimensões mínimas) ser comparável ao observado em outros climas, ocorreu menor abundância de madeira em termos de carga volumétrica. Isso acontece devido às dimensões relativamente pequenas das peças de madeira, por sua vez determinadas pelo crescimento lento da floresta, localizada no sul da Argentina.



Então, o levantamento de todos os LW, considerando menores tamanhos, seria uma forma mais eficiente de responder diferentes questionamentos. Essa informação é fundamental para estudos com enfoques nos itens 3.2.2 e 3.2.3.

### **3.2.2 Hidrodinâmica**

O estudo da dinâmica rio/vegetação é de extrema relevância, podendo-se medir inclusive o movimento dos LW dentro da zona ripária, e não só no canal, bem como sua interação com o ambiente.

Com essa finalidade, Bertoldi et al. (2013), em estudo na Itália, mediram o recrutamento e a retenção de madeira em escala local com alta resolução temporal, combinando informações de fotografias, levantamentos aéreos e medições de campo. Com base nas informações obtidas, foi possível compreender o fornecimento de madeira por erosão dos taludes e investigar o seu destino em termos de armazenamento local.

Brooks et al. (2003) forneceram um contexto evolutivo de longo prazo para a mudança do canal do rio, destacando o papel da vegetação e dos LW no comportamento e evolução desse canal. Ravazzolo et al. (2015) ao explorar as características, abundância, distribuição e efeitos geomórficos dos LW, puderam relacionar o grau de pressões humanas com a natureza e abundância de LW nos canais.

Dadas as diferenças documentadas na grande dinâmica da madeira em diferentes porções de uma rede de rios e entre redes em diversas regiões geográficas, a compreensão da influência das grandes madeiras em rios se beneficiaria muito de estudos de campo coordenados e de longo prazo (SWANSON et al., 2021).

Tal como fizeram Iroumé et al. (2018) por mais de oito anos, em quatro córregos chilenos, onde mais de 1000 peças de madeira foram etiquetadas. Assim, os autores puderam aprofundar a compreensão dos principais fatores que controlam a dinâmica desses materiais, como deslocamento, deposição e seu reposicionamento após inundações.

No caso da abordagem hidrodinâmica, observou-se que a medição de vazão em campo é fundamental. O conhecimento sobre o funcionamento de um

ecossistema através do monitoramento de campo é de extrema importância e deve ser incentivado em todas as esferas da pesquisa.

Para analisar a dinâmica de peças de madeira em dois trechos de um rio no sul da Polônia, caracterizados por diferentes configurações geomórficas, Ruiz-Villanueva et al. (2016b) compararam observações de campo e resultados de modelagem numérica sob diferentes cenários, identificando a importância de cada um dos fatores que controlam o transporte desta madeira durante cheias - volume e tamanho da madeira, morfologia do rio e magnitude da inundação.

É comum que rios de cabeceiras florestadas sejam estreitos e com o dossel fechado pela copa das árvores. Assim, os processos biológicos terrestres e aquáticos são intimamente interligados, e os materiais orgânicos (como serapilheira e LW) afetam os processos biológicos desses sistemas (GOMI; SIDLE; RICHARDSON, 2002).

Além de hidrodinâmica, alguns parâmetros físico-químicos de água, tais como temperatura, pH e condutividade elétrica deveriam ser também avaliados. Fantin-Cruz et al. (2010) relataram que alterações térmicas impostas a um rio atuam diretamente na estrutura de suas comunidades biológicas e processos ecossistêmicos.

Sendo assim, descrever os componentes hidrológicos e hidrodinâmicos e como eles afetam os LW é de extrema importância, considerando a relação direta entre processos hidrodinâmicos em escala de canal e processos em escala de bacia. Desta forma, as medições específicas do trecho e o monitoramento de chuva e vazão, por exemplo, são estritamente relacionados e precisam ocorrer de forma simultânea.

### **3.2.3 Modelagem**

A dinâmica da madeira em rios reflete processos paisagísticos complexos que diferem por região geográfica, intervalo de tempo, regime hidrológico, geologia da bacia, forma do canal, estrutura da rede de drenagem, tipo de floresta, processos de perturbação e interferência humana (GREGORY; MELEASON; SOBOTA, 2003).

Desta forma, os modelos de simulação são uma ferramenta importante, desenvolvida nas últimas décadas para explorar implicações de longo prazo ou em

grande escala da dinâmica da madeira em diferentes cenários, apresentando diferentes enfoques.

#### 3.2.3.1 Balanço (*Budget*)

O fornecimento, armazenamento e transporte de LW em rios pode ser entendido em termos de um balanço de massa, também chamado de orçamento quantitativo de madeira. O monitoramento da taxa deste recrutamento é realizado de forma a avaliar a importância de todos os processos envolvidos. Entre eles, está mortalidade natural, tempestades de vento, incêndios florestais, erosão de margens ou deslizamentos de terra (BENDA et al., 2003). Estes estudos que abordam a variabilidade temporal são geralmente mais escassos, devido à dificuldade de estimar essas mudanças no balanço de madeira.

Neste sentido, para avaliar o balanço de madeira em rios do norte da Califórnia, Benda e Bigelow (2014) utilizaram, entre outros fatores, um modelo (BENDA; SIAS, 2003) para prever a distância média percorrida pelos LW. Assim, verificaram que o recrutamento das maiores peças de madeira se dava principalmente pela erosão de taludes em florestas manejadas e por mortalidade natural em florestas não manejadas. Essa informação é importante para conhecimento dos impactos das florestas plantadas.

Segundo Benda et al. (2003) o cálculo do fornecimento de madeira pode ser usado para prever como variações no manejo do solo afetam a abundância e distribuição de LW para regiões específicas. Como essas variações mudam dependendo do local, os parâmetros da modelagem devem representar também esses diferentes coeficientes.

Outra abordagem que pode ser feita é integrar os dados a modelos numéricos de simulação para estimar as flutuações temporais do suprimento de madeira ou a taxas de mortalidade florestal. Assim, podem-se construir hipóteses do fornecimento de madeira em diferentes climas, tamanho da bacia, topografia, tamanhos de LW (considerando os de pequeno porte) e manejo do solo.

#### 3.2.3.2 Modelagem Computacional

A utilização de modelos para simular o comportamento de LW nos rios é usual em trabalhos que buscam a geração de mapas de índice de risco e foi feita, por

exemplo, por Mazzorana et al. (2009). Os autores classificaram as bacias hidrográficas de acordo com sua propensão para arrastar e transportar material lenhoso. Neste tipo de abordagem, é fundamental a existência de MDT's (Modelos Digitais de Elevação) de alta resolução, que permitam a obtenção de dados detalhados de cobertura florestal (como alturas de árvores e densidades de dossel).

A modelagem computacional tem grande utilidade para verificação dos impactos hidráulicos, positivos e negativos, da introdução de LW nos canais de rios, tal como fizeram Thomas e Nisbet (2012). Os autores aplicaram um software 1D não livre para investigar alterações da velocidade à jusante de barragem formada por LW.

Lancaster et al. (2003) usaram um modelo simplificado para analisar se a madeira tem um efeito significativo no escoamento em pequenas bacias hidrográficas montanhosas. Os autores executaram-no dentro do modelo de escala de paisagem, e assim puderam descrever um fluxo de LW e estimar os efeitos da remoção desta madeira no escoamento.

Em relação à adição de LW em rios com o objetivo de melhorar a retenção de sedimentos, Wallerstein (2003) afirma que estas acumulações deveriam ser projetadas incluindo estimativas das taxas de saída e de deposição desses sedimentos, bem como da evolução da erosão. Para fazer essa análise, o autor usou-se de um modelo unidimensional baseado nas equações da continuidade do sedimento, resistência ao escoamento e transporte de sedimentos. Uma limitação deste tipo de modelagem é que entradas laterais de sedimentos não são conhecidas, as quais tornariam a taxa de erosão mais lenta.

Ruiz-Villanueva et al. (2014a) analisaram um evento de inundação ocorrido em 1997 em um rio da Espanha, onde uma grande quantidade de LW foi transportada. O objetivo foi simular um processo de entupimento de uma ponte e reconstruir os padrões de depósito da madeira. Para isso, utilizaram um modelo numérico bidimensional que simula o transporte de LW e seu efeito na hidrodinâmica fluvial, sendo que este mostrou ser uma ferramenta eficaz.

Nos últimos anos, surgiu também o iRIC (*International River Interface Cooperative*), que se trata de uma plataforma de simulação numérica para previsões de enchentes, geração de escoamento de chuva, fluxos de detritos, avaliação de habitat, etc. Dentro do módulo Nays CUBE, modelo tridimensional para fluxo de rio e morfodinâmica do leito, pode-se simular "*Driftwood*" – transporte de madeira

flutuante durante um evento de cheia. Shimizu et al. (2020) destacaram a importância do módulo Nays CUBE, já que, segundo os autores, a morfodinâmica do canal está fortemente associada ao habitat ripário e à vegetação em uma gama de escalas de tempo.

Considerar a madeira flutuante durante inundações exigirá que este campo de pesquisa avance em direção a modelos mais realistas de coevolução morfodinâmica e vegetação, através do estreitamento de relações de colaboração com botânicos e ecologistas ripários, buscando assim uma melhor caracterização dos acoplamentos canal-vegetação (SHIMIZU et al., 2020). Por exemplo, Kimura e Kitazono (2020) realizaram simulação de *Driftwood* utilizando o modelo iRIC, buscando prever o movimento da madeira flutuante em torno de estruturas hidráulicas, como pilares de pontes.

Em relação aos estudos brasileiros, constatou-se que há um grande campo de estudo em relação ao bloqueio de canais pelas pontes, por exemplo, através da modelagem.

Este tipo de simulação deve considerar também o tipo de madeira, se recrutada recentemente (verde) ou persistente no canal do rio. As simulações de Ruiz-Villanueva et al. (2016a) demonstraram que esses dois tipos de madeira se movem de maneira diferente nos rios, tanto em termos de distância percorrida quanto em relação ao mecanismo de transporte (ou seja, flutuabilidade, dependendo das condições de fluxo). De acordo com os resultados da modelagem, a madeira mais leve (menos de 600 kg/m<sup>3</sup>, representativa da madeira armazenada no canal) percorreu distâncias mais longas flutuando, a menos que ocorressem interações com a morfologia do rio. Quando os valores de densidade da madeira atingiram cerca de 850 kg/m<sup>3</sup> (um valor representativo da madeira verde), a razão de transporte diminuiu. Desta forma, à medida que a densidade da madeira aumentou, a taxa de transporte de madeira diminuiu de tal forma que sob condições de fluxo idênticas, o número de peças transportadas em um rio foi significativamente reduzido para madeiras mais densas.

A questão sobre LW é relacionada analogamente aos processos erosivos, ou seja, desagregação, transporte e deposição. A maior parte das simulações é voltada ao transporte. Então, deveriam ser simuladas também desagregação (entrada dos LW no sistema fluvial) e deposição das peças lenhosas (em relação à sua orientação dentro do rio).

Segundo Wohl et al. (2016) e Keys et al. (2018), um modelo computacional amplamente utilizado para modelagem de rios é o HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center - River Analysis System*). Trata-se de um modelo hidrodinâmico para propagação do escoamento, que foi desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros dos Estados Unidos e que pode simular escoamentos em regime permanente e não permanente, em 1D e 2D, sendo usado também para simulação de transporte de sedimentos e qualidade da água (USACE-RAS, 2016a).

Através do HEC-RAS, é possível obter informações relativas às características do escoamento como níveis de água, tempo de chegada da onda de cheia ou perfil de velocidades, utilizando como dados de entrada informações de topografia e vazão. A análise das velocidades no canal pode ser importante para análise da existência, permanência e transporte de LW nos canais naturais.

Caso seja considerado o fluxo em 1D, mais indicado no caso de rios confinados, o HEC-RAS permite que o regime de escoamento ocorra em regime permanente ou não permanente. Já em 2D somente é possível realizar as simulações em regime não permanente. Em cada um desses casos, o HEC-RAS aplica diferentes equações para obtenção dos resultados. Assim, Keys et al. (2018) utilizaram o HEC-RAS para verificar a velocidade e profundidade de inundações com e sem LW. Além disso, o modelo foi utilizado a fim de avaliar a influência da presença de WDJ (AGGETT; WILSON, 2009).

Addy e Wilkinson (2019) resumiram o conhecimento empírico dos efeitos hidráulicos e hidrológicos do LW, de ocorrência natural ou artificial, dando também uma visão geral das simulações dos efeitos do LW usando modelos hidrodinâmicos ou hidrológicos, e observaram que a abordagem mais comum é alterar a rugosidade do canal para representar a resistência ao fluxo.

### 3.2.3.3 Modelagem física em laboratório

Uma alternativa que surge ao levantamento de campo propriamente dito é a utilização de simuladores ambientais com parâmetros controlados em laboratório, tal como fez Bocchiola (2011), ao avaliar as modificações de um fluxo com a introdução de LW. O autor demonstrou que a madeira no canal aumenta a disponibilidade de habitat para a colonização por peixes. No entanto, este estudo negligenciou os efeitos indiretos da madeira sobre a preferência do habitat, como sombreamento.

Hasegawa et al. (2010) conduzindo o experimento em um canal de seção transversal retangular, confirmaram a influência de LW em um fluxo de detritos, pois observaram que os mesmos ficam misturados com os demais detritos na parte frontal do fluxo, prendendo-se nos taludes e bloqueando-o, formando assim um barramento temporário no canal do rio.

Neste sentido, calibrando um modelo numérico bidimensional com os resultados de um canal experimental, Shrestha et al. (2012) também analisaram fluxos de detritos contendo LW e compararam a resultados onde a componente madeira foi retirada, no enfoque de avaliação do potencial danoso destes fluxos. Sabe-se que o uso da modelagem na análise de fluxo de detritos é comum em países que têm maiores registros de ocorrência destes eventos.

Para avaliar o transporte de LW mais detalhadamente, Watanabe et al. (2013) realizaram um experimento laboratorial com canal fluvial com enfoque de LW de diferentes espécies. O resultado demonstrou que diferentes densidades de detritos, dependendo da espécie, afetam o regime de transporte e conseqüentemente gera uma distinta forma de acumulação. Já Itoh et al. (2010) analisaram as características do fluxo com LW de diferentes pesos específicos.

#### 3.2.3.4 Modelagem física em campo

Com a modelagem computacional tornando-se cada vez mais popular, a condução de experimentos de campo torna-se um desafio para os pesquisadores, principalmente em relação aos custos, recursos humanos e intempéries ambientais.

Além de levantamento a campo dos LW, Haga et al. (2002) realizaram também modelagem em um rio natural, e assim puderam comparar os resultados da distribuição e do transporte de LW em rios montanhosos no Japão. O experimento só foi possível porque muitas árvores da zona ripária haviam sido derrubadas, e os LW eram escassos na seção experimental, que possuía 5500 m de comprimento. As toras foram etiquetadas e distribuídas no canal com baixo fluxo e monitoradas por cerca de 1 ano, e os resultados mostraram que a distância percorrida pelos fragmentos tem relação com a profundidade do fluxo.

Para examinar os efeitos dos LW na conectividade da planície de inundação de pequenos rios de cabeceira, Keys et al. (2018) simularam três inundações represando o canal de um riacho na Virginia (EUA). As três inundações experimentais constaram na preparação do sistema (umedecimento do solo na

planície de inundação), inundação sem LW e inundação com 3 peças de LW abrangendo a largura do canal, respectivamente. Os resultados indicaram que a adição de LW aumenta a extensão e profundidade da inundação na planície e diminui a velocidade do fluxo ao longo do rio.

### 3.3 CLASSIFICAÇÃO DOS RIOS E SUAS FORMAÇÕES

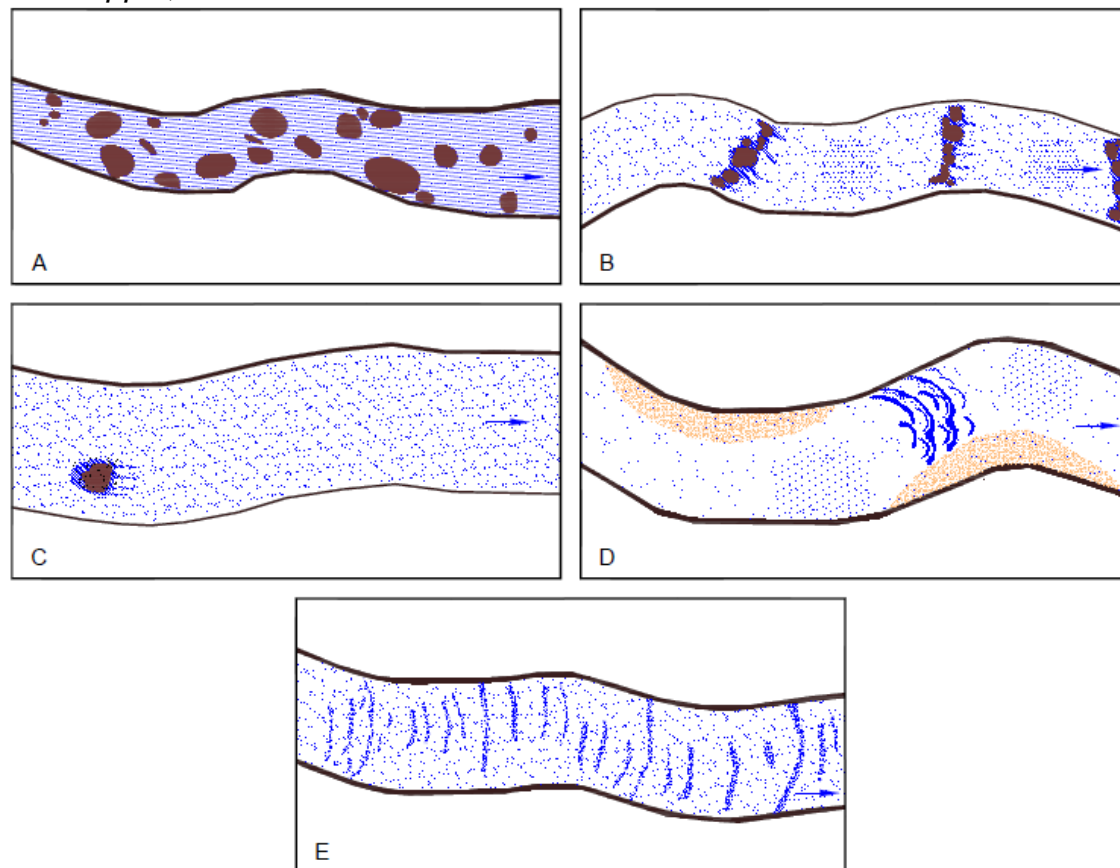
Vários autores têm proposto diferentes abordagens para a classificação dos rios, sendo elas baseadas em: (i) ordem do canal; (ii) domínios de processos físicos; (iii) padrão do canal; (iv) interação entre canal e planície de inundação; (v) mobilidade de sedimentos e material do leito; (vi) unidades de canal; (vii) classificações hierárquicas; e (viii) classificações estatísticas. A utilização de classificações distintas está condicionada basicamente à finalidade da análise, ou seja, ao grau de detalhamento e ao objetivo (PAIXÃO; KOBAYAMA, 2019).

Um canal fluvial pode apresentar diferentes formas geomórficas dependendo do ambiente em que está inserido. São sistemas complexos, que desafiam uma simples classificação, pois esta depende da finalidade e do tipo de dados disponíveis, sendo essencialmente subjetiva. Para reduzir essa subjetividade, Wheaton et al. (2015) propuseram o *Geomorphic Unit Tool* (GUT), que utiliza um extenso banco de dados de unidades geomorfológicas de pequena escala para classificá-las automaticamente, a partir de um MDT com alta resolução (ao menos 10 cm de resolução).

Vários métodos de classificação de rios têm sido sugeridos, sendo baseados em características hidrológicas, geomorfológicas e ecológicas do sistema fluvial (HASSAN et al. 2005). Montgomery e Buffington (1997) caracterizaram de uma forma simples a morfologia de canais fluviais (Figura 1).



Figura 1 - Morfologias do canal fluvial: (A) canal em cascata, com fluxo turbulento em torno de blocos e matacões; (B) *step-pool*, com fluxo sequencial turbulento antes e depois dos degraus e lento nas piscinas; (C) *plane-bed*, leito plano com fluxo uniforme; (D) *pool-riffle*, fluxo altamente turbulento em soleiras e lento nas piscinas; e (E) *dune-ripple*, leito móvel com formas de dunas.



Fonte: baseado em Montgomery e Buffington (1997).

Outra classificação geomorfológica muito utilizada é a de Rosgen (1994), que se baseia na identificação do nível de margens plenas. A identificação desse nível em trechos com grandes acumulações de LW é difícil, pois essas formações alteram o regime hidrológico e a produção de sedimentos, modificando assim a geometria e os processos erosivos e deposicionais da calha fluvial.

Simon et al. (2005) fizeram críticas à classificação de Rosgen (1994), evidenciando que se trata de uma metodologia sem grande apelo científico, pois uma determinada forma de canal pode ser o resultado de muitas combinações de processos. Os autores destacam que uma classificação com abordagens determinísticas de base física quantifica as forças que controlam os processos ativos e a morfologia do canal, sejam eles hidráulicos, hidrológicos ou geotécnicos. Essas abordagens baseadas na física requerem dados que podem ser coletados em um

local em apenas um dia, valorizando assim a coleta de dados em campo. A metodologia de Rosgen (1994) não busca quantificar as variáveis e processos que controlam a morfologia do canal, embora existam diversos modelos que foram testados e refinados cientificamente ao longo do tempo (SIMON et al., 2005).

Tadaki et al. (2014) explicaram que para a classificação de um rio é necessário identificar unidades estruturais funcionais, ligando assim a forma ao processo e permitindo que características comportamentais sejam extrapoladas para diferentes cenários. Desta forma, em teoria, se um tipo de rio for sustentado pelos mesmos processos dominantes, ele provavelmente reagirá de maneira similar a mudanças nos componentes do sistema ou nas condições de entorno.

Características como a localização da área, nível de degradação, taxa de deposição dos sedimentos e dos LW provenientes de deslizamentos, bem como fluxos de detritos, modificam a estrutura geomorfológica dos canais fluviais (GOMI et al., 2003).

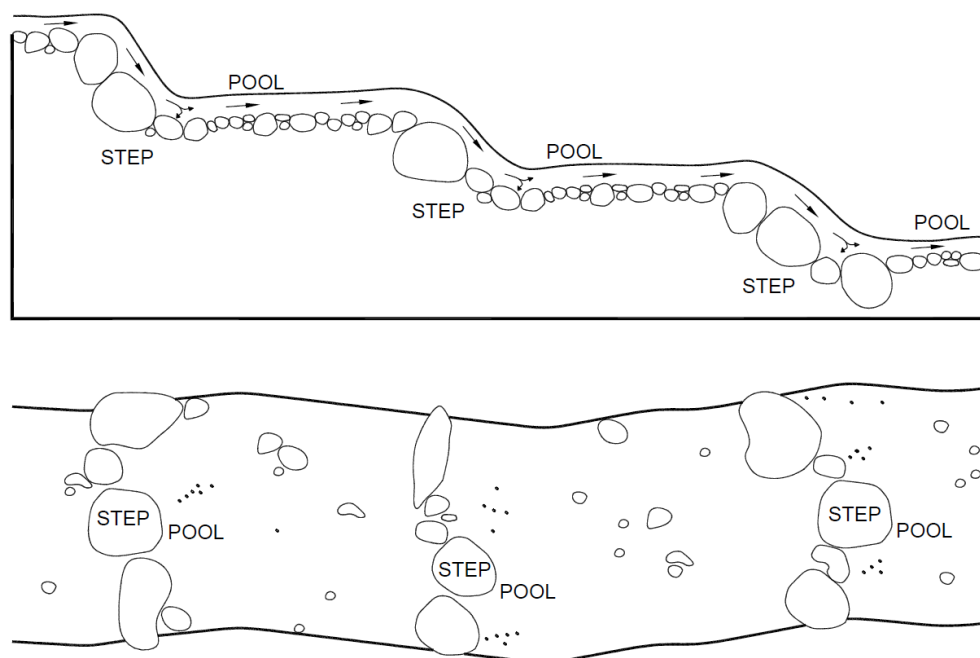
Montgomery e Buffington (1997), Rosgen (1994) e Tadaki et al. (2014) são exemplos de classificações de domínio de processos. No estudo dos LW, as classificações mais indicadas são aquelas a nível unidades de canal, pois estas ajudam a identificar as feições geomorfológicas em pequena escala. Neste caso, pode-se citar Zimmermann e Church (2001).

Todos os tipos de leito fluvial são impactados pela presença de LW, em maior ou menor grau. A seguir, são discutidos em especial *step-pool* e *dune-ripple*, que segundo Buffington (2012) sofreriam uma influência maior.

### **3.3.1 Formação *step-pool* e detritos lenhosos**

Buffington e Montgomery (2013) caracterizaram um trecho de canal fluvial do tipo *step-pool* como aquele onde ocorre uma repetição de sequências de degraus e piscinas, que podem ser formadas por LW, rochas ou pedregulhos acumulados. Os típicos perfis transversal e longitudinal de uma sequência *step-pool* encontram-se na Figura 2.

Figura 2 - Perfis transversal e longitudinal, respectivamente, de uma seqüência *step-pool*.



Fonte: baseado em Lenzi (2001).

Uma seqüência *step-pool* é característica marcante de um rio de cabeceira com declividade média superior a 3% (GOMI et al., 2003). Trata-se de uma geoforma observada em diferentes paisagens. Nos canais em que ocorrem, os *step-pool* adicionam maior estabilidade a um fluxo do que esse teria com os mesmos sedimentos e declive constante.

Comiti et al. (2005) comentaram que em canais com *step-pool* o fluxo é impulsionado pela gravidade através dos degraus, e há uma difusão da energia do escoamento logo abaixo, nas piscinas, de maneira constante, onde a piscina é moldada pelo fluxo e o material do leito é então arrastado e removido.

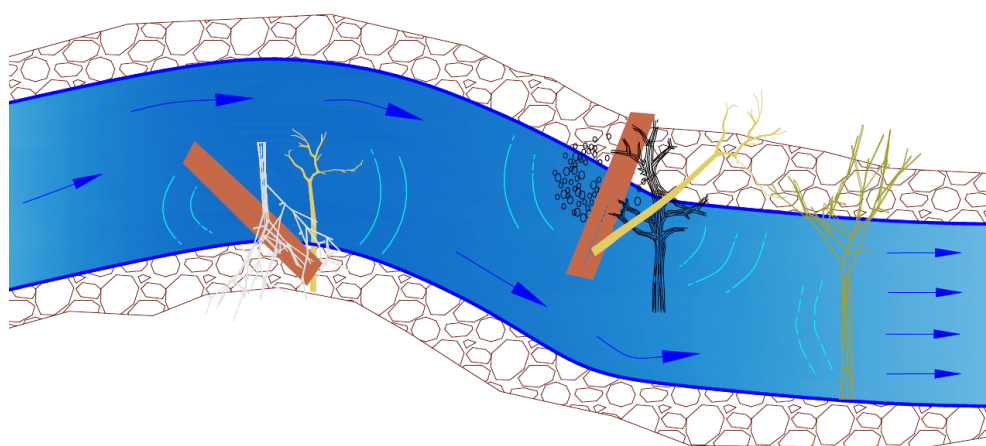
Ressalta-se que a ocorrência de piscinas em um canal normalmente é devido a um processo à montante, que muitas vezes é um tronco caído. Buffington e Montgomery (2013) complementam que a amplitude e o comprimento dos *step-pool* podem ser ajustados para maximizar a resistência hidráulica e equilibrar as taxas de fornecimento de sedimento e transporte de carga do leito. Neste sentido é que surge a importância do conhecimento da interferência da presença da madeira nesses canais.

Existem diversas teorias que explicam a origem, a dinâmica de formação e a evolução das estruturas de *step-pool*, mas segundo Lenzi (2001) a maioria delas

converge no sentido de que estas formações surgem em grandes vazões. Entretanto, em revisão sobre o tema, Chin e Wohl (2005) ressaltam que mais pesquisas são necessárias para explicar a sua formação e manutenção nos diferentes ambientes.

É comum que grandes vazões transportem LW, podendo ser até árvores inteiras, de modo que essas estruturas podem então formar degraus e piscinas no rio (Figura 3).

Figura 3 - Formação de *step-pool* em riachos através da presença de detritos lenhosos no canal.



Fonte: Campagnolo et al. (2020).

Embora os degraus de LW ocupem uma pequena porcentagem do canal, seus efeitos são relevantes (KELLER; SWANSON, 1979). Observa-se que esses degraus têm características diferentes daqueles formados pela rocha do leito, já que os LW são susceptíveis ao apodrecimento ao longo do tempo, a uma taxa que depende de vários fatores como o clima e a densidade da madeira.

Mao et al. (2008) concluíram que as acumulações de LW são responsáveis por criar piscinas maiores do que seria possível por degraus formados por pedregulhos, redução da declividade total do trecho analisado em cerca de 25%, dissipação da energia potencial em aproximadamente 25% e armazenamento de sedimentos na ordem de 1000 m<sup>3</sup>/km.

Em relação aos LW e *step-pool*, o aumento na abundância de madeira em um rio montanhoso tem um efeito mais intenso na resistência ao fluxo e no armazenamento de sedimentos, se esta madeira formar degraus (CHIN; WOHL, 2005).

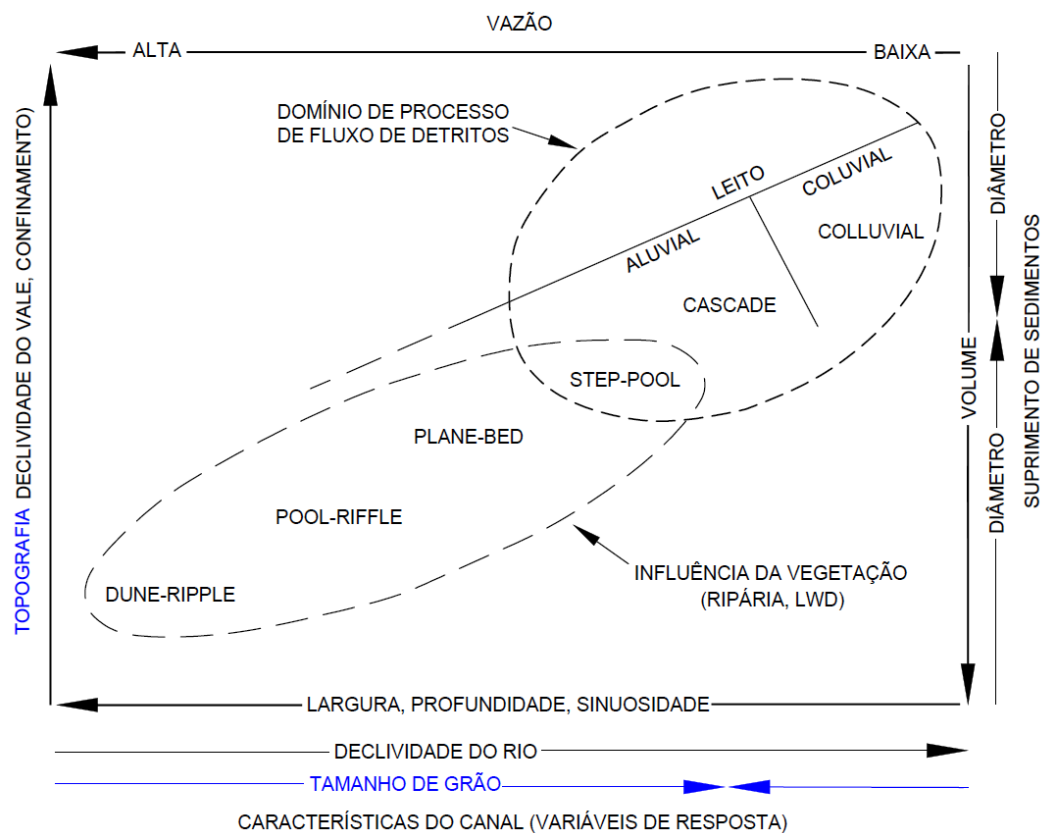
Curran e Wohl (2003) dizem que em canais florestais com presença de *step-pool*, o principal componente da resistência total é o LW de grande porte, pois estes fragmentos exercem um controle indireto por acentuar a altura do degrau.

### 3.3.2 Formação *dune-ripple* e detritos lenhosos

Trechos de rio classificados como do tipo *dune-ripple* apresentam normalmente leito de areia e pouca declividade (MONTGOMERY; BUFFINGTON, 1997). Apesar de serem recorrentes entre muitos biomas, estudos de trechos com *dune-ripple* são minoria, sendo preteridos à análise dos *step-pool*.

Como possuem uma capacidade de transporte limitada, relacionada também às baixas velocidades, grandes madeiras depositadas no canal, como LW, podem alterar severamente o fluxo do rio e influenciar de forma significativa a geomorfologia desse canal, conforme demonstrou Buffington (2012) (Figura 4). O autor sinalizou as formas geomorfológicas que sofrem maior influência da vegetação ripária, sendo uma delas a *dune-ripple*. Isso ocorre porque em rios de cabeceira com formação arenosa, ou seja, grãos de pequeno diâmetro, mas em grande volume, além de pouca largura, essa interferência da madeira é maior, o que não ocorre em rios de grande largura e profundidade.

Figura 4 - Morfologia do canal em função das condições da bacia hidrográfica, considerando *dune-ripple*, *pool-riffle*, *plane-bed*, *step-pool*, *cascade*, e *colluvial*.



Fonte: baseado em Buffington (2012).

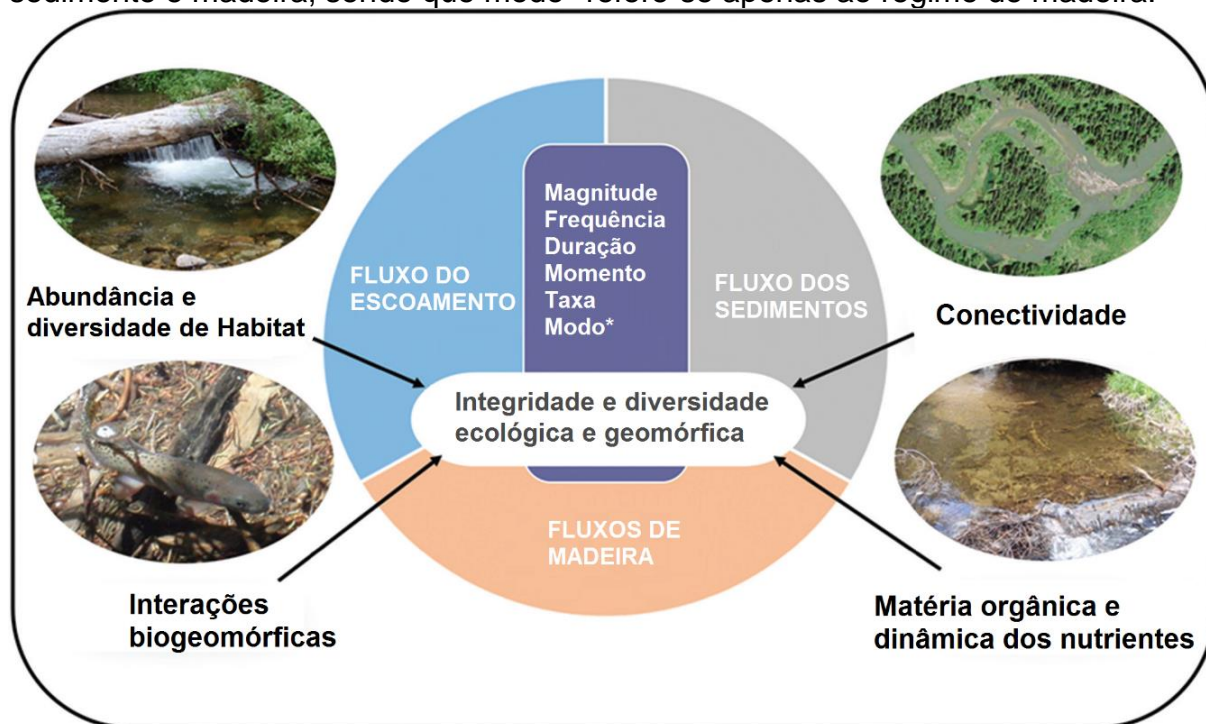
Wondzell e Gooseff (2013) afirmam que os processos hidrodinâmicos dominam em rios com leitos relativamente móveis, caracterizados por *dune-ripple*. Conforme os autores, como há pouca declividade longitudinal, a morfologia destes canais tende a não criar gradientes hidrostáticos acentuados.

### 3.4 INFLUÊNCIA DOS LW NA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Os estudos de LW surgiram no ambiente científico. Entretanto, paralelamente a sociedade em geral tem se interessado em compreendê-los e aplicar seus conhecimentos na prática. Trata-se de uma tendência global, onde recursos da própria natureza ajudam a recuperar ambientes danificados ou apenas ajudam a harmonizar um ambiente degradado.

Os efeitos da madeira na geomorfologia e ecologia dos rios são cada vez mais estudados e catalogados, sendo basicamente relacionados em três âmbitos, carga de LW, hidrologia e sedimentologia (WOHL et al., 2019) (Figura 5).

Figura 5 - Características do canal do rio influenciadas pelas interações entre água, sedimento e madeira, sendo que modo\* refere-se apenas ao regime de madeira.



Fonte: baseado em Wohl et al. (2019).

As zonas ripárias florestadas mantêm um fluxo natural de madeira, de modo que as interações entre água, sedimento, madeira e geometria do vale criam efeitos secundários, como a atenuação do pico de cheia, absorção de nutrientes, sedimentação e armazenamento de matéria orgânica particulada, abundância e diversidade de habitat e maior biomassa de organismos por unidade de comprimento do corredor ripário (WOHL et al., 2019).

Essas relações são complexas, sendo que o detalhamento de três aplicações do conhecimento sobre LW são demonstradas a seguir.

### 3.4.1 Subsídios ao manejo de rios

Os grandes fragmentos de LW são um componente natural vital dos cursos d'água. No entanto, sua presença levou gestores fluviais italianos (muitas vezes pressionados pela população local) a removê-los dos rios. Essa ação era justificada como medida para redução da retenção de sedimentos e, conseqüentemente, o risco de inundações. Na verdade, não possuía uma abordagem científica sólida e a

lógica econômica (custo-benefício) é discutível (COMITI et al., 2011). As mesmas justificativas são observadas no gerenciamento tradicional realizado no Brasil. Conforme ressalta o *The Chalkstream Habitat Manual* (2008), as únicas vantagens da retirada dos LW seriam reduzir o risco de inundação local e evitar a obstrução à migração de peixes.

Conforme analisado por Ruiz-Villanueva et al. (2014b), até recentemente, a prática de remover sistematicamente os LW dos rios era amplamente aceita como medida preventiva. No entanto, estudos demonstraram que esta prática é ineficaz, já que após cada inundação o material é transportado e depositado novamente, pode afetar o equilíbrio natural do ecossistema ripário em longo prazo.

A vegetação ripária é uma condição do ambiente desenvolvida e mantida naturalmente através da integração de várias características, como solo, umidade e microclima. Observa-se que a resistência dos taludes, os elementos de rugosidade do canal (como LW) e a resistência geral ao fluxo são influenciados pela comunidade ripária e determinantes para este ecossistema (ROSGEN, 2011).

Portanto, a presença deste material lenhoso nos rios deve ser gerenciada eficientemente. Por exemplo, se a maioria se apresentar como árvores inteiras, esse fator pode ser um indicativo de que estejam ocorrendo intensos processos de erosão das margens nesta bacia.

Sendo assim, onde os LW ocorrem naturalmente, desde que seja de forma estável, não causando erosão excessiva, risco de inundação ou barrando a passagem de peixes, eles devem ser mantidos, para que a dinâmica natural seja perpetuada.

A lista de funções da madeira no canal é extensa, e esta importância tem sido demonstrada em diversos estudos que envolvem os efeitos na dinâmica e morfologia do canal, na ciclagem de nutrientes e no habitat e biota.

Fernandez et al. (2010), em trabalho realizado no oeste do Paraná, comprovaram que se pode utilizar LW como técnica para manejo de rios. Essa metodologia também foi utilizada para restauração das funções ecológicas do Rio Mangaraí (ES), onde troncos de eucalipto foram depositados artificialmente no canal para melhorar a qualidade da água, recriar habitat e aumentar a biodiversidade desse rio (PINTO; AGRA; FURLEY, 2017).

Em revisão sobre o tema, Roni et al. (2015) destacaram que a madeira é um importante componente ecológico em rios e, ainda, quando buscam a



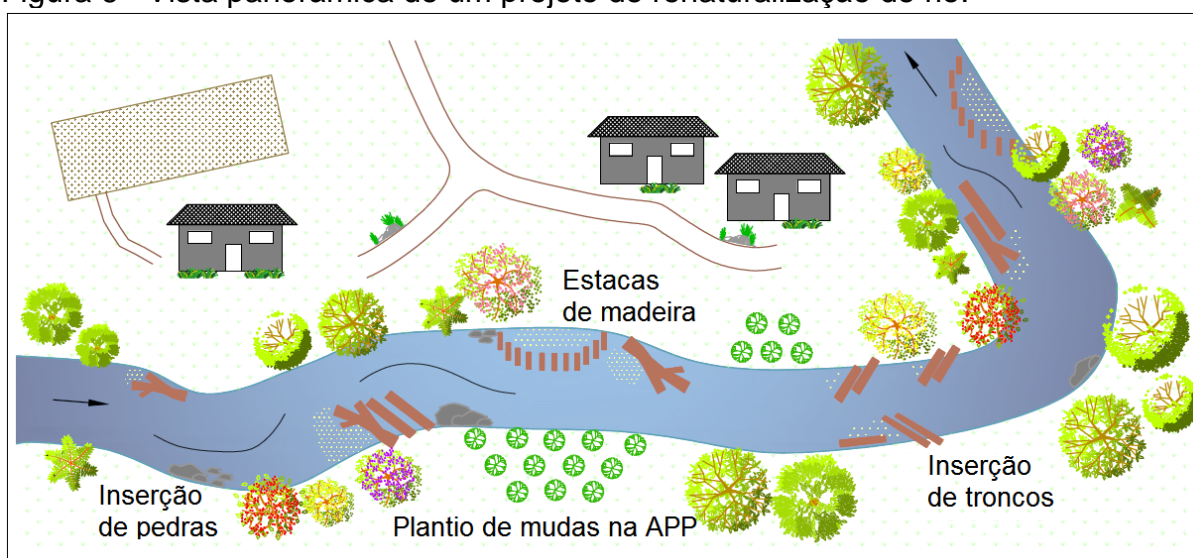
renaturalização, a maioria das estruturas em madeira permanecem estáveis em canais por mais de uma década. Os autores também concluíram que a colocação artificial de madeira leva a melhorias nas características do habitat físico, como aumento de piscinas, cobertura e complexidade de habitat, especialmente quando combinadas com um cenário geomorfológico apropriado.

Sutili et al. (2018) trazem um novo viés, e ressaltam que na impossibilidade de recuperação natural da vegetação, também os trabalhos de remodelagem dos taludes, estabilização do solo e recobrimento vegetal induzido se mostram necessários, a fim de contornar os inúmeros problemas decorrentes dos impactos negativos da erosão em taludes fluviais.

Diversos manuais ilustram as funções da madeira em rios. Por exemplo, Schuett-Hames et al. (1999), Brooks et al. (2006) e Giordanengo et al. (2016). Esse último trata-se do Manual Técnico para rios do Colorado (EUA), que enfatiza que barramentos de LW proporcionam habitat e estabilização do ecossistema até que a vegetação ripária e as encostas estáveis possam ser restabelecidas.

A partir do conhecimento existente, os projetos de renaturalização são desenvolvidos de forma a possibilitar que o ambiente fluvial tenha condições de se autodesenvolver depois de criadas as condições básicas (Figura 6). Ou seja, o princípio da recuperação não deve ser a reconstrução total do dano causado ao meio, mas sim, dar condições ao ecossistema de tornar-se autossustentável. (SOUZA; KOBİYAMA, 2003).

Figura 6 - Vista panorâmica de um projeto de renaturalização de rio.



Fonte: Kobiyama et al. (2020).

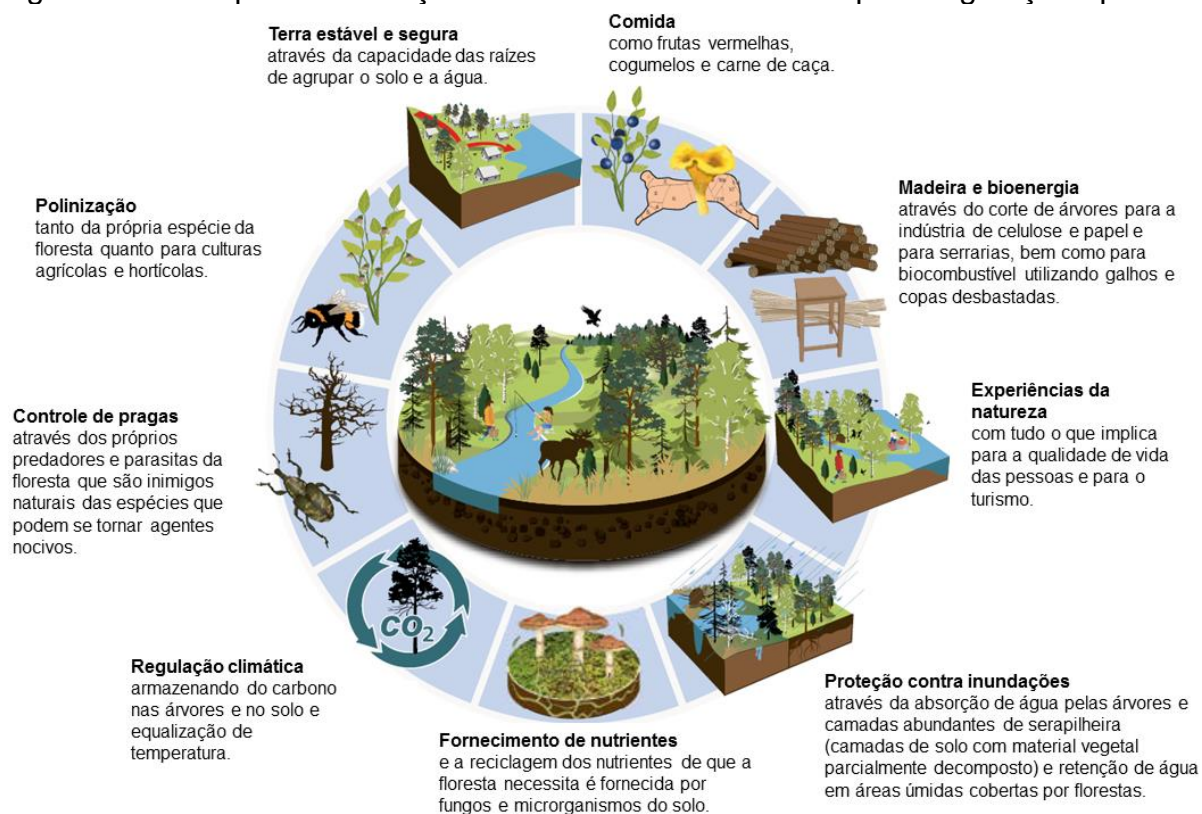
Para alcançar o sucesso na renaturalização de um rio, trazendo saúde e maior equilíbrio ao mesmo, os gestores ambientais devem reconhecer a natureza dinâmica do ecossistema ripário, considerando o tempo necessário para restaurar suas funções ecológicas em um cenário em constante mudança (BOYER et al., 2003).

### **3.4.2 Serviços ecossistêmicos pelos LW**

O bem-estar da sociedade depende significativamente dos serviços ambientais fornecidos pela natureza, que incluem a regulação do clima na Terra, a formação dos solos, o controle contra erosão, o armazenamento de carbono, a ciclagem de nutrientes, o provimento de recursos hídricos em quantidade e qualidade, a manutenção do ciclo de chuvas, a proteção da biodiversidade, a proteção contra desastres naturais, elementos culturais, a beleza cênica, a manutenção de recursos genéticos, entre muitos outros (GUEDES; SEEHUSEN, 2011).

Para conscientizar a sociedade, a ONU (Organização das Nações Unidas) lançou o programa Avaliação Ecosistêmica do Milênio (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005), que teve como objetivo avaliar as consequências das alterações nos ecossistemas para o bem-estar humano. Embora estes serviços sejam “gratuitos”, sua substituição por meios artificiais, quando possível, seria infinitamente onerosa, já que diversos serviços ecossistêmicos são providos pela zona ripária (Figura 7).

Figura 7 – Exemplos de serviços ecossistêmicos fornecidos pela vegetação ripária.



Fonte: adaptado de Naturvårdsverket (2018).

A espécie humana sempre dependeu dos bens e serviços providos pelos ecossistemas ripários. Para que essa relação possa continuar existindo, a manutenção da dinâmica do fluxo de bens e serviços fornecidos por ecossistemas saudáveis e estáveis precisa ser mantida, para que assim continue sendo fonte de bem-estar para a sociedade (KOBAYAMA et al., 2020).

A legislação ambiental brasileira, através da Lei nº 12.651/2012, busca proteger esses ecossistemas e define as APP, que são “áreas protegidas cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (BRASIL, 2012).

Os serviços hidrológicos providos pelas APP's incluem a regulação dos fluxos hídricos e a manutenção da qualidade da água. Mas outro serviço ecossistêmico provido por essas florestas ripárias é o fornecimento natural de LW para os rios.

O conceito de serviço ecossistêmico é uma ferramenta eficaz para subsidiar a elaboração de políticas públicas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), que

é o processo de atribuir valores econômicos aos recursos ambientais, atrelando para isso aspectos socioeconômicos e ambientais, sendo assim, forma eficiente de promover a conservação ambiental (GUEDES; SEEHUSEN, 2011).

No Brasil, a Lei nº 12.651/2012 autoriza a instituição do PSA em todo o território nacional, como retribuição às atividades de conservação e melhoria dos ecossistemas que geram serviços ambientais (BRASIL, 2012). Recentemente, foi sancionada a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA), por meio da Lei nº 14.119/2021 (BRASIL, 2021). Essa lei é de suma importância para o avanço do desenvolvimento sustentável do país, pois estabelece um diálogo em torno do tema serviços ambientais.

Coelho et al. (2021) realizaram levantamento que totalizou 68 iniciativas de PSA com enfoque hídrico em andamento ou concluídas no território brasileiro até o ano de 2017. Delas, 65 são descritas exclusivamente como PSA hídricos e três são iniciativas multisserviços, que possuem objetivos múltiplos (carbono, biodiversidade e água).

### **3.4.3 Influência em desastres naturais**

Segundo Kobiyama et al. (2012), reconhecer os papéis que a floresta exerce no ambiente possibilita seu uso e manejo adequado também no contexto do gerenciamento de desastres naturais. Diversos fenômenos como inundações e escorregamentos ocorrem devido a características como, por exemplo, vegetação, topografia e tipo de solo. Quando esses fenômenos ocorrem em locais habitados e provocam danos materiais ou humanos, são tratados como desastres naturais.

A ocorrência desses eventos não é rara. Durante um evento de chuva intensa, pode ocorrer um ou vários deslizamentos, e a massa movimentada, constituída de solo, rocha e vegetação, chega ao rio e enterra seu leito, funcionando como um barramento. Se a barragem se destrói, ocorre enxurrada ou fluxo de lama, causando danos à jusante (KOBİYAMA et al., 2008).

Desta forma, quando uma árvore cai próximo ou dentro do canal do rio, sua função no ecossistema muda completamente, pois a presença dos LW aumenta o poder destrutivo do fluxo de detritos e conseqüentemente aumenta o dano associado. Assim, a floresta pode exercer efeitos positivos e negativos para um mesmo fenômeno natural (KOBİYAMA; MICHEL; GOERL, 2012).

Moos et al. (2018) também entendem que a floresta desempenha um papel duplo e contraditório em relação aos LW. Para os autores, um exemplo são as inundações que transportam grandes peças de madeira, que podem ter efeitos devastadores consideravelmente maiores em comparação com as inundações que transportam apenas sedimentos. Quando as margens são ocupadas por atividades humanas, o processo natural de cheias e a morte de indivíduos vegetais potencializam ainda mais o risco de desastres.

Comiti et al. (2011), ao analisar as mudanças morfológicas de um rio localizado nos Alpes Italianos, também descreveram os potenciais aspectos negativos dos LW, entre eles o aumento da rugosidade total no canal em altas vazões, possivelmente levando a inundações mais frequentes, e maior entrega de fragmentos lenhosos potencialmente perigosos a jusante, em secções potencialmente críticas, como pilares de pontes.

Quando os LW interagem com estruturas como pontes, a formação de entupimentos ou barragens pode levar a sérias consequências durante eventos de inundação (RUIZ-VILLANUEVA et al., 2014b). Mas os trabalhos muitas vezes relacionam o risco de inundação a grandes árvores inteiras, sendo que detritos menores teriam menos interferência nessas infraestruturas.

Ruiz-Villanueva et al. (2014a) demonstraram como o impacto (em termos de profundidade da água e áreas alagadas) de uma inundação repentina pode aumentar consideravelmente devido ao transporte de grandes quantidades de madeira e sua interação com pontes. Entretanto, os autores analisaram apenas um evento, ocorrido em 1997, em um rio de cabeceira espanhol, mas puderam comprovar que a influência dos LW não deve ser descartada de análises de inundação, ao menos em bacias que cruzam áreas florestais.

Não é discutível o papel que a vegetação desempenha nos ecossistemas ripários. Existe um consenso na literatura científica de que as florestas oferecem a redução de múltiplos riscos e que os custos de manutenção de uma floresta de proteção são extremamente baixos quando comparados às medidas estruturais (MOOS et al., 2018).

Entretanto, os riscos associados aos LW em eventos de inundação e fluxos de detritos não podem ser negligenciados. A mobilidade da madeira nos canais está sendo incluída nas análises fluviais, não apenas em contextos ecossistêmicos, mas também em termos de inundações e potencial de risco.

### 3.5 ESTUDOS SOBRE DETRITOS LENHOSOS NO BRASIL

Algumas abordagens de avaliação dos LW realizadas no Brasil, majoritariamente no Bioma Mata Atlântica (Tabela 1). Apesar de ser um tema importante e atual, ressalta-se o pouco interesse dos pesquisadores brasileiros. Sendo assim, a realização de estudos sobre LW em rios é de extrema importância e de interesse para os gestores brasileiros, pois permite que se possam fazer recomendações cientificamente embasadas de manejo das bacias hidrográficas, principalmente em termos de bioma e mecanismos de avaliação.

Tabela 1 – Levantamento dos trabalhos sobre detritos lenhosos no Brasil.

<b>Autor</b>	<b>Local</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Metodologia</b>
Fernandez (2004)	córrego Guavirá Marechal Cândido Rondon (PR)	Discutir o papel dos LW na retenção de sedimentos de fundo e na formação de unidades soleira-depressão no rio.	Levantamento topográfico de perfis em barramentos com LW; amostragem dos sedimentos de fundo; medição dos LW.
Binda e Lima (2008)	rio das Pedras e rio Guabiroba Guarapuava (PR)	Demonstrar o papel dos LW sobre a morfologia e processos fluviais.	Análise visual e revisão geral.
Fernandez et al. (2010)	córregos Quati, Santa Fé e Aurora Palotina (PR)	Avaliar os efeitos de estacas de madeira na morfologia do leito e na fauna de macro-invertebrados.	Instalação de estacas no canal, levantamentos topográficos (perfis verticais e longitudinais) e sedimentológicos do canal, vazão e monitoramento da fauna bentônica.
Binda e Fernandez (2010)	rio Guabiroba Guarapuava (PR)	Analisar a influência dos LW na configuração espacial de soleiras e depressões em trecho de rio.	Caracterização das sequências <i>step-pool</i> mediante topografia, medição da largura e profundidade do canal em locais com acumulações de LW.
Binda e Fernandez (2011a)	rio Guabiroba Guarapuava (PR)	Analisar as acumulações de LW e sua influência na morfologia do rio.	Instalação de seções de monitoramento batimétrico e elaboração de blocos 3D mediante técnicas de geoprocessamento.

Binda e Fernandez (2011b)	rio Guabiroba Guarapuava (PR)	Verificar a influência de acumulações de LW na morfologia do leito.	Monitoramento de perfis transversais a montante e jusante de acumulações de LW.
Dias e Thomaz (2011)	rio Guabiroba Guarapuava (PR)	Observar a interferência dos LW em alguns parâmetros da dinâmica fluvial em áreas marginais.	Análise do fluxo, vazão e geometria do canal, quantidade e volume de LW, profundidade do rio, granulometria e morfometria dos sedimentos no leito, caracterização da vegetação ripária.
Paula et al. (2011)	rio Corumbataí Rio Claro, Ipeúna, Charqueada, Corumbataí e Piracicaba (SP)	Avaliar os efeitos de mudanças na floresta ripária na oferta de LWD e na estrutura de canais em rios tropicais.	Geolocalização, levantamento da vegetação e do canal, dados hidrológicos, medição dos LW, seu volume e frequência.
Fernandez e Binda (2012)	rio Guabiroba Guarapuava (PR)	Análise do papel dos LW nos processos de erosão e deposição no leito fluvial.	Medição de diâmetro e comprimento dos LW; classificação dos LW.
Faria (2014)	rios sem denominação específica no maciço da Tijuca Rio de Janeiro (RJ)	Observar a capacidade dos canais para transportar sedimentos em ambientes florestados, a dinâmica das partículas e as consequências do desmatamento.	Diferentes técnicas para medição dos fluxos em calhas perenes e intermitentes, em regimes regulares e torrenciais, e medição do transporte de sedimentos de fundo e em suspensão.
Palhiarini e Pagotto (2015)	Brasil	Reflexões acerca da influência da vegetação ripária no ecossistema e dos impactos de sua retirada, considerando o fornecimento de LW.	Revisão geral
Arndt e Fernandez (2017)	córregos Guavirá, Guará, Matilde-cuê e Apepu Marechal Cândido Rondon (PR)	Conhecer os aspectos morfológicos e hidráulicos de mesohabitats aquáticos em córregos urbanos.	Medição de largura, profundidade e velocidade do fluxo, declividade da lâmina d'água e número de Froude.
Campagnolo et al. (2020)	Brasil	Análise da dinâmica e consequências dos LW nos rios com base na literatura mundial.	Revisão bibliográfica sobre os estudos com LW
Campagnolo e Kobiyama (2021)	Arroio Perdizes Cambará do Sul (RS)	Apresentar a metodologia de levantamento e caracterizar os LW em um canal natural localizado em um parque nacional.	Levantamento topográfico, levantamento e caracterização dos LW

Ressalta-se a atuação de universidades do Paraná, onde ocorreu a maioria dos trabalhos. Em estudos no rio Guabiroba (PR), Binda e Fernandez (2010, 2011a e 2011b) analisaram os LW por meio de levantamento geométrico, inspeção visual, definição da morfologia e da variação do leito, classificação dos segmentos com acumulações de LW, geoprocessamento e monitoramento de perfis transversais junto das acumulações. Esses trabalhos alcançaram seu objetivo de verificar a influência das acumulações de LW na morfologia do canal do rio e, portanto, estas metodologias servem como exemplo para serem replicadas nos demais biomas brasileiros.

As práticas com base na dinâmica de LW, como a renaturalização de rios, devem ser adequadas para cada região brasileira. Watanabe et al. (2013) confirmaram que o tipo de espécie pode influenciar a dinâmica dos LW. Portanto, apesar de pouco usual, considerar o tipo de vegetação e suas diferenciações, como a forma das raízes e da copa, ao seu comportamento quando essa madeira torna-se LW, deveria ser mais bem explorada (CAMPAGNOLO et al., 2018).

Um tema que ainda não foi abordado no Brasil é a influência dos LW nas taxas de troca do rio com a sua zona hiporreica. Para Tonina e Buffington (2009), a importância dos LW nessas trocas depende de sua frequência, tamanho e orientação dentro do canal.

Em estudo utilizando simulação física, Mutz et al. (2007) observaram que os LW causaram um aumento significativo nessas trocas hiporreicas. Destaca-se assim sua importância potencial, já que a zona hiporreica é parte da zona ripária. Para Gomi et al. (2002) as trocas que ocorrem na zona hiporreica podem ser potencializadas quando sedimentos e LW acumulam-se nas confluências, mas este assunto não foi profundamente analisado pelos autores.

Indiretamente, muitos trabalhos abordam a influência da vegetação ripária para o ecossistema fluvial, apesar de não discutirem diretamente os LW, mas a engenharia natural em si, tal como Sousa e Sutili (2013). Segundo os autores, a engenharia natural constrói estruturas para estabilização de margens de cursos d'água utilizando materiais naturais, como troncos de árvores.

Atualmente, faltam políticas públicas eficientes relacionadas à difusão da importância da vegetação ripária. O uso de tecnologias como sensoriamento remoto, por exemplo, são ferramentas fundamentais para o melhor entendimento acerca das



características de cada localidade. Aliado a isso, benefícios fiscais devem ser fornecidos, a fim de promover planos de manejo para ambientes onde houve degradação da vegetação ripária (PALHIARINI; PAGOTTO, 2015).

### 3.6 A FLORESTA DE ARAUCÁRIA

A Floresta de Araucária, ou Floresta Ombrófila Mista, ocorre nas grandes altitudes do sul do Brasil, sendo caracterizada pela presença da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. A Floresta de Araucária é considerada como componente da Floresta Atlântica, apesar de possuir características únicas quanto à sua fisionomia e composição florística, além de peculiaridades do clima e relevo onde ocorre (CARLUCCI et al., 2011). Ocorria de forma abundante nos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e, de modo esparso, em São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Sua distribuição ocorre em altitudes médias de 600 a 800 m, e em algumas áreas com mais de 1000 m de altitude, como por exemplo em Cambará do Sul (RS) (Figura 8).

Este ecossistema florestal abriga as poucas coníferas de ocorrência subtropical no Hemisfério Sul do continente americano, além de possuir uma grande riqueza de epífitas vasculares como bromélias, orquídeas e cactáceas. Ao longo das últimas décadas, vem sendo devastada devido às pressões exploratórias e o valor da madeira, sendo que sua cobertura florestal foi reduzida para cerca de 3% da área original (BAUERMANN; BEHLING; MACEDO, 2009).

Figura 8 - Fisionomia da Floresta de Araucária no Parque Nacional de Aparados da Serra.



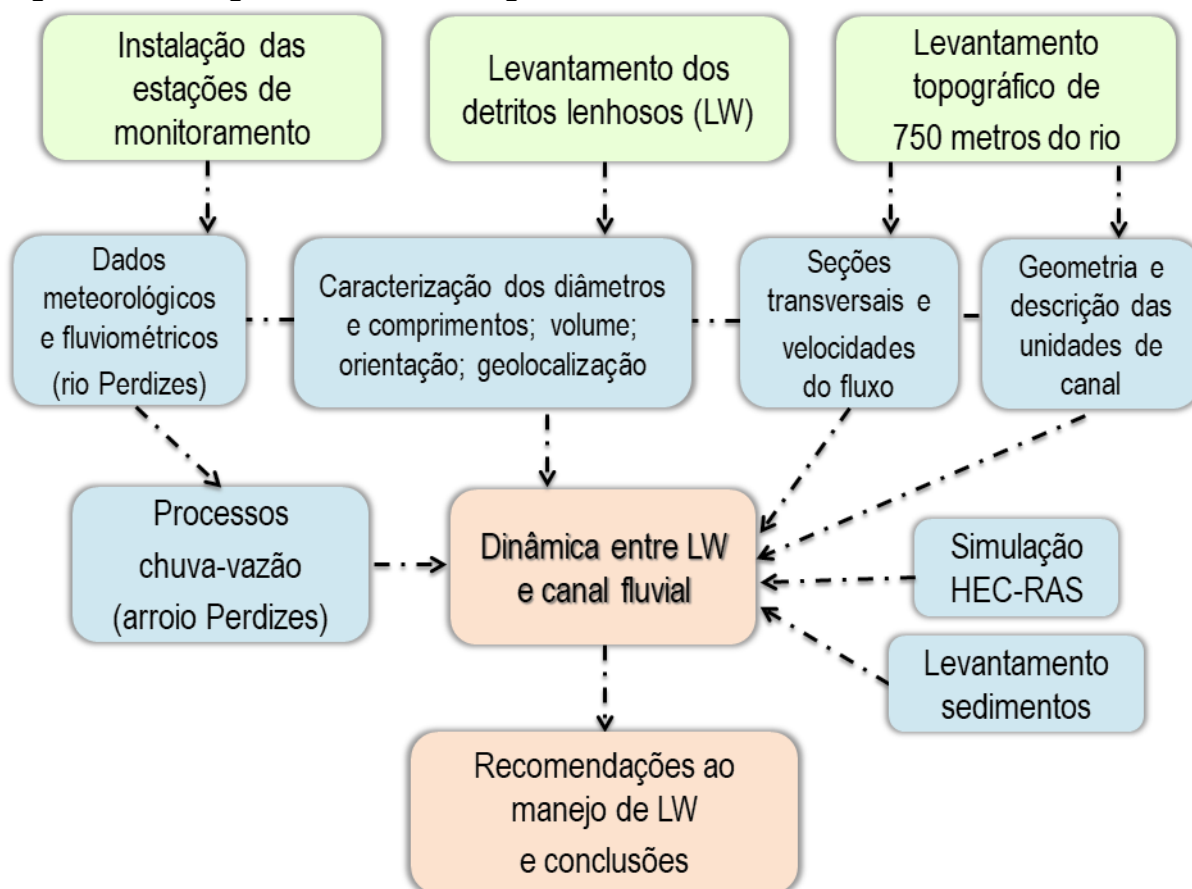
Análises modernas demonstraram que as Florestas de Araucária estão expostas a um alto grau de perturbação devido à pecuária, exploração de madeira e, mais recentemente, pela substituição desmedida por espécies florestais exóticas, que resultam no surgimento de matas secundárias e na diminuição da diversidade florística (BAUERMANN; BEHLING; MACEDO, 2009).

#### 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia consistiu no levantamento topográfico do canal, de seções transversais permanentes, velocidade e vazão do fluxo, sedimentos de fundo e das peças de LW em um trecho do canal do arroio Perdizes, juntamente com a realização de um monitoramento hidrometeorológico da bacia hidrográfica e simulação hidrológica. Foram 30 coletas de campo, entre novembro de 2017 e junho de 2021, portanto muitas delas realizadas durante a Pandemia de COVID-19.

O arroio Perdizes é o principal afluente do rio Perdizes, nome dado ao curso d'água formado pela união do arroio Perdizes e o rio Água Comprida. Para melhor compreensão da abordagem deste trabalho, a Figura 9 ilustra sucintamente as etapas gerais de realização do mesmo.

Figura 9 - Fluxograma da metodologia utilizada na tese.

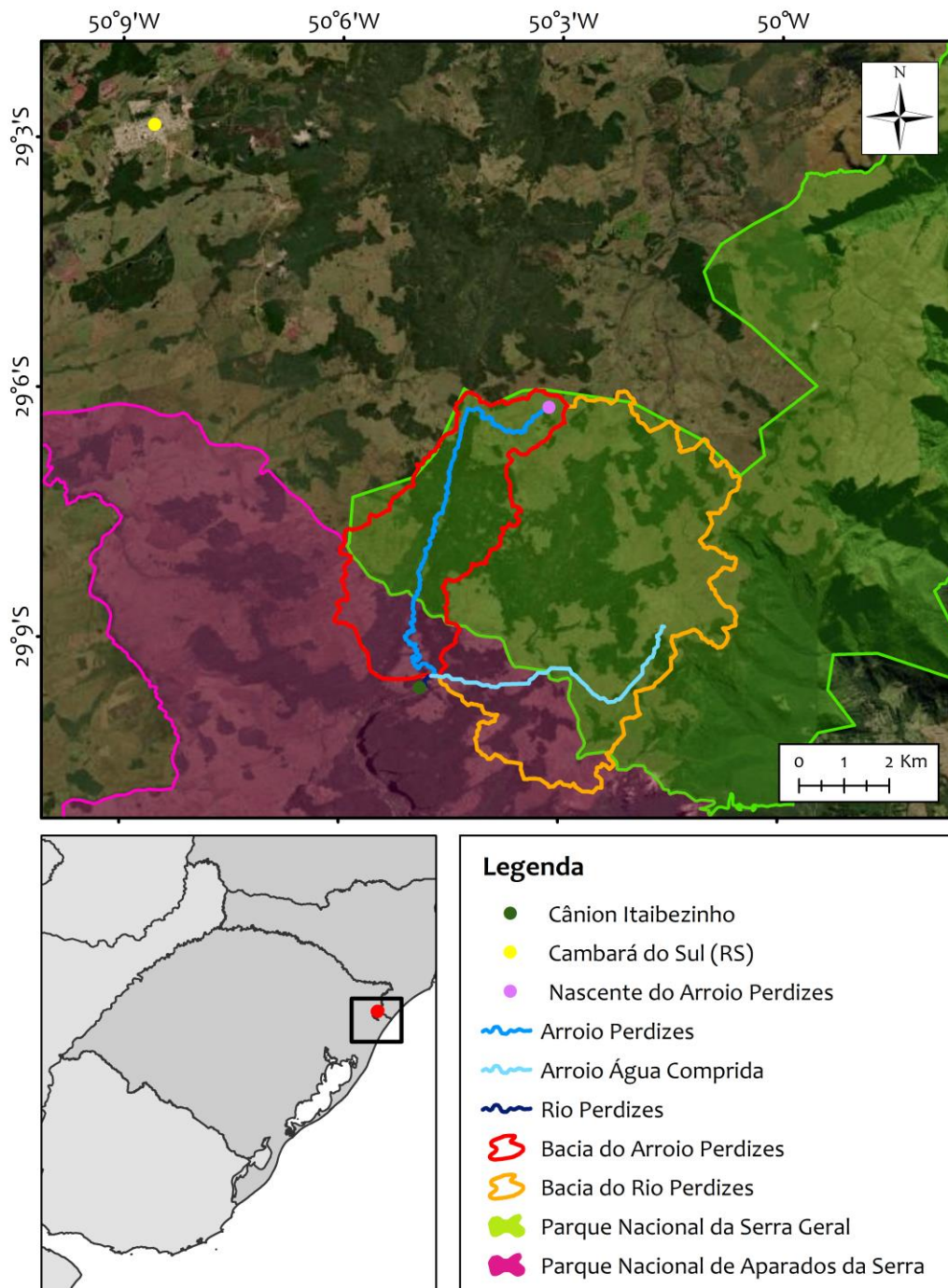


#### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em um trecho do arroio Perdizes, localizado em uma bacia hidrográfica que tem sua área de drenagem inserida nos Parques Nacionais de Aparados da Serra (PNAS) e Serra Geral (PNSG), que possuem 10.250 ha e 17.300 ha de área total, respectivamente. A bacia hidrográfica é legalmente protegida e pouco antropizada, com o uso do solo restrito à pecuária familiar em áreas onde ainda não ocorreu a desapropriação pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio).

O trecho de rio analisado está localizado próximo à sede do parque e do cânion Itaimbezinho, em Cambará do Sul (RS), município cuja altitude média é 1.027 m (Figura 10).

Figura 10 - Localização geral da bacia do arroio Perdizes, sub-bacia do rio Perdizes, e os limites dos Parques Nacionais.



Os parques são Unidades de Conservação controladas pelo ICMBio, de forma que as atividades com fins científicos foram realizadas mediante autorização registrada sob o número 59652-1 do SISBIO (Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade), ativa de 14/08/2017 a 01/07/2022.

O clima da região é subtropical úmido sem estação seca definida (Cfb), com verão ameno, de acordo com a classificação climática do Sistema de Köppen (SANTOS et al., 2015). A temperatura média anual é de 14,9 °C e a precipitação média anual varia entre 1700 e 1800 mm, com 82% de média anual da umidade relativa do ar (WREGGE et al., 2012). A precipitação total anual da cidade de Cambará do Sul varia entre 1.750 e 2.250 mm (CITADINI-ZANETTE et al., 2011).

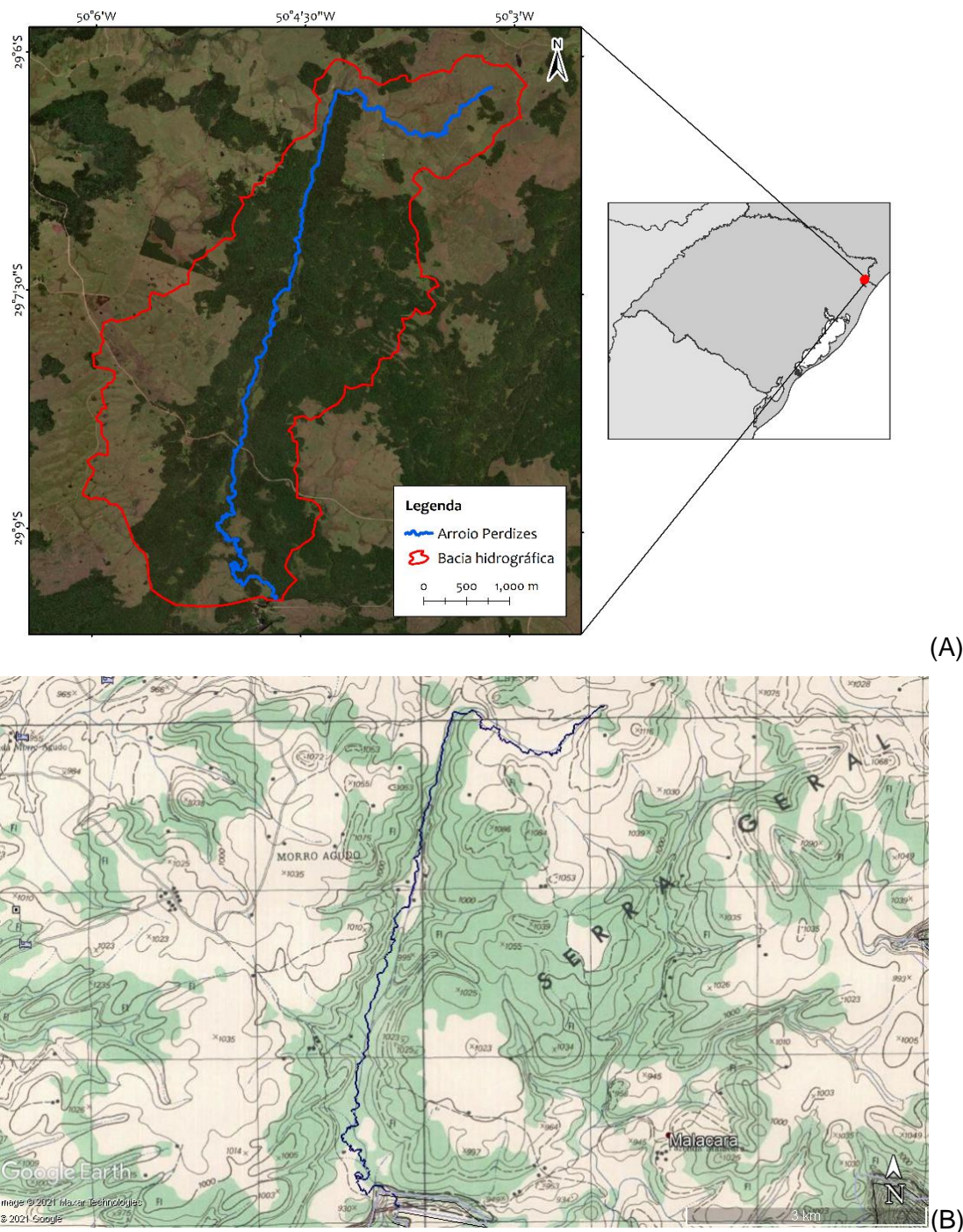
Segundo o Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul, as rochas predominantes na região são rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, Fácies Caxias. A Fácies Caxias pertence à unidade ácida do membro Palmas, sendo caracterizada por possuir derrames de composição intermediária a ácida, riolitos a riolitos, mesocráticos, microgranulares a vitrofíricos, com textura esferulítica comum (tipo carijó), forte disjunção tabular no topo dos derrames e maciço na porção central, dobras de fluxo e autobrechas frequentes, e vesículas preenchidas predominantemente por calcedônia e ágata, fonte das mineralizações da região (CPRM, 2004).

A região também é chamada de Campos de Cima da Serra, e possui grande visitação turística pelas belezas naturais, principalmente em função dos cânions e parques contidos em seu território. A bacia hidrográfica do arroio Perdizes é coberta predominantemente por Cambissolos Húmicos Alumínicos (CHa), segundo o Banco de Dados de Informações Ambientais (BDiA) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (IBGE, 2020). Esse tipo de solo é pouco desenvolvido, possui baixa permeabilidade e está, normalmente, associado a relevos suaves e/ou montanhosos (EMBRAPA, 2018).

Por meio da delimitação da bacia hidrográfica definiu-se a área total em, aproximadamente, 15 km<sup>2</sup> (Figura 11A), utilizando MDT do sistema ALOS-PALSAR (*Advanced Land Observing Satellite – Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) com resolução espacial de 12,5 metros. A região da principal nascente do arroio Perdizes, obtida mediante levantamento a campo, está localizada nas coordenadas 29°06'12.20"S e 50°03'9.80"O (SIRGAS 2000 – zona 22S). A Figura 11B mostra a carta do exército (Cambará do Sul – Folha SH.22-X-C-II-2; MI-2955/2; escala 1:50.000), para melhor compreensão da topografia da área.



Figura 11 – Mapa da bacia do arroio Perdizes (A) e detalhamento do relevo com carta do exército (B).



A principal formação florestal existente na região corresponde à Floresta Ombrófila Mista, também denominada Floresta de Araucárias, que tem o domínio fisionômico da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. Essa formação florestal possui riqueza de epífitas, devido às condições geográficas e climáticas (IBAMA, 2004). Outras formações florestais também ocorrem no PNAS, como Floresta Ombrófila Densa Montana e Submontana, Floresta Nebular, Campos Secos, Campos

Turfosos, Campos Rupestres e Vegetação Rupícola, segundo o Plano de Manejo oficial (IBAMA, 2004).

Os indivíduos amostrados em um levantamento florístico e estrutural da vegetação arbórea do PNAS, na região onde a bacia está inserida, pertenciam a 17 famílias botânicas e a 42 espécies diferentes (SANTOS et al., 2015) e as famílias que tiveram maior índice de riqueza foram Myrtaceae, Lauraceae, Aquifoliaceae, Salicaceae, Primulaceae e Winteraceae. Na região, o dossel é formado principalmente por espécies de Myrtaceae, Lauraceae e Aquifoliaceae (CITADINIZANETTE et al., 2011), enquanto o *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl. é escasso (BERGAMIN, 2010).

A bacia hidrográfica do arroio Perdizes está inserida nos limites do Bioma Mata Atlântica. Próximo à nascente, a fisionomia da bacia hidrográfica é naturalmente marcada por um mosaico de campo e floresta, destacada pelas copas emergentes da araucária (Figura 12A). Nas áreas mais inclinadas da bacia hidrográfica, à jusante, a floresta é dominante em relação ao campo nativo. Na foz do arroio Perdizes, no rio Água Comprida (Figura 12B), existe diferença aparente na turbidez da água entre os dois cursos d'água, por razões não definidas neste estudo.

Figura 12 - Fisionomia da paisagem na bacia do arroio Perdizes (A); e foz do arroio Perdizes no rio Água Comprida, formando o rio Perdizes (B).



(A)

Coordenadas: -29.156000°, -50.079635° (Datum Sirgas 2000)



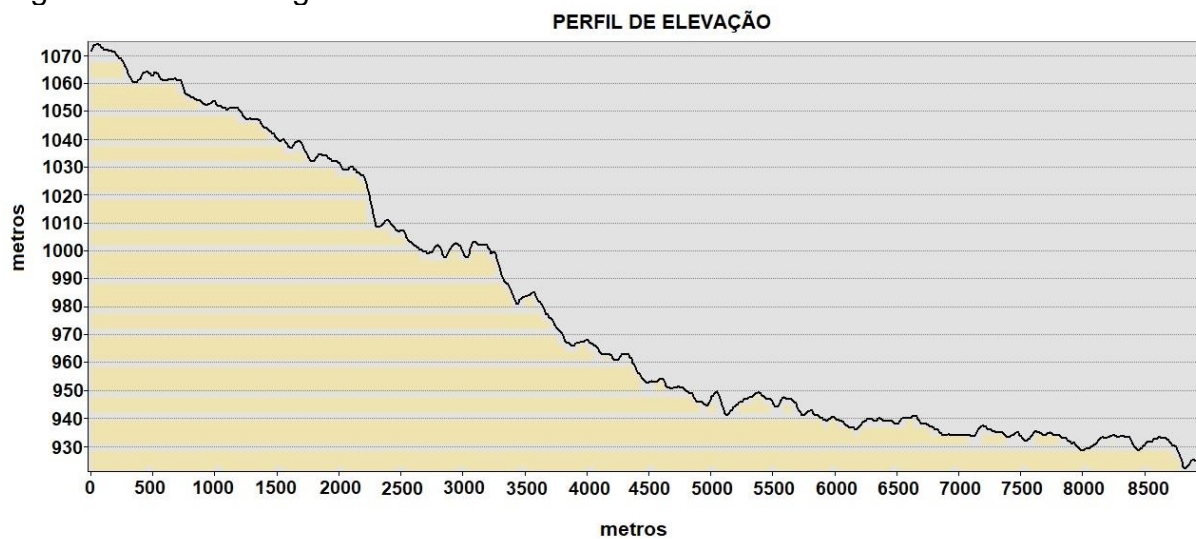


(B)

Coordenadas -29.157538°, -50.078240° (Datum Sirgas 2000)

A declividade média da bacia hidrográfica é de 1,4% e o perfil longitudinal do canal do arroio Perdizes possui 2,3% de declividade desde a sua nascente (1070 m) até a sua foz (921 m) (Figura 13).

Figura 13 - Perfil longitudinal do arroio Perdizes desde sua nascente até a foz.



Fonte: MDT do sistema ALOS-PALSAR com resolução espacial de 12,5 metros.

O tempo de concentração da bacia do arroio Perdizes, ou seja, o tempo de resposta ao escoamento superficial, foi determinada a partir da Fórmula de Kirpich:

$$T_c = 57 \cdot \left( L_t^3 / \Delta H \right)^{0,385} \quad (1)$$

onde  $T_c$  é o tempo de concentração (min);  $L_t$  é o comprimento do talvegue (km); e  $\Delta H$  é o desnível (m).

O leito do rio apresenta trechos rochosos com soleiras e também trechos de leito móvel, com areia e seixos.

#### 4.2 MONITORAMENTO HIDROLÓGICO

O monitoramento hidrológico foi realizado na bacia principal do rio Perdizes, formador da cachoeira das Andorinhas, no cânion Itaimbezinho. Trata-se de um sistema de monitoramento implementado e mantido no PNAS pelo Grupo de Pesquisas em Desastres Naturais (GPDEN-UFRGS). Os dados desse monitoramento foram utilizados para a sub-bacia do arroio Perdizes (Figura 10), onde foi realizado o monitoramento dos LW.

Os dados hidrológicos obtidos foram precipitação e nível. O monitoramento automático da precipitação foi realizado com uma estação meteorológica *Davis*® modelo “*Advantage Pro 2*” (Figura 14), e neste estudo utilizou-se dados de 1 de janeiro de 2018 até 31 de dezembro de 2020, com registro em intervalos fixos de 10 minutos.

Figura 14 - Estação Meteorológica instalada próximo à foz da bacia do rio Perdizes (A) e detalhe da placa informativa (B).



(A)

### Monitoramento Hidrometeorológico:

Disponibilização dos dados em:  
<https://www.ufrgs.br/gpden/>



Acesse lendo o QR CODE:

#### Estação Meteorológica (1)

Medição de precipitação, temperatura, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, pressão barométrica e radiação solar a cada 10 minutos.

#### Régua de Nível (2) e (3)

Medição manual de nível do Arroio Perdizes

#### Sensor de Nível (4)

Medição automática do nível do Arroio Perdizes a cada 10 minutos.



(B)

A curva-chave representativa do rio Perdizes foi gerada por meio da relação entre o nível e a vazão deste rio. Os dados de nível foram obtidos de uma estação de monitoramento de nível da marca Solar<sup>®</sup> instalada no rio Perdizes, também com registro de dados em intervalos fixos de 10 minutos. Os dados de vazão foram



obtidos junto ao rio Perdizes desde novembro de 2017 (Figura 15), com uso de um *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) Sontek® modelo M9 e de um micromolinete OTT®, dependendo da disponibilidade do aparelho e do nível do rio.

Figura 15 - Medição de vazão no rio Perdizes utilizando ADCP.



Em razão do difícil acesso e ocorrência recorrente de cheias que inviabilizam as medições in loco, a extrapolação da curva-chave de vazão foi realizada por meio do Método de Manning (Equação 2), que considera que a relação entre a raiz da declividade da linha d'água pelo coeficiente de rugosidade de Manning tende a ser constante para altas vazões (TUCCI; SILVEIRA, 1985).

$$Q = \frac{A_m^{5/3} \cdot \sqrt{I}}{n \cdot R_h^{2/3}} \quad (2)$$

onde  $Q$  é a vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ );  $A_m$  é a área molhada da seção transversal ( $\text{m}^2$ );  $I$  é a declividade ( $\text{m}/\text{m}$ );  $n$  é o coeficiente de rugosidade de Manning ( $\text{m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ ); e  $R_h$  é o raio hidráulico da seção transversal ( $\text{m}$ ).

Desta forma, aplicando a Equação (2), para o nível registrado pelo sensor de 1,36 metros (31/03/18), calculou-se a vazão de 36,10  $\text{m}^3/\text{s}$  no rio Perdizes, utilizando o valor de  $n$  igual a 0,05 (CHOW, 1959) e declividade a partir de topografia local. Na extrapolação de uma curva-chave sempre existem incertezas, principalmente na

parte superior da curva. Isso ocorre porque existem poucos dados, pois é difícil e perigoso medir grandes vazões (GRISON; KOBIYAMA, 2009).

Através da análise dos processos chuva-vazão no rio Perdizes pelo monitoramento contínuo das estações, puderam ser conhecidos também esses processos para a bacia do arroio Perdizes, seu afluente e local deste estudo. Para tanto, a comparação e a geração de uma equação de correlação entre as vazões no rio e no arroio Perdizes, foram realizadas por meio da medição concomitante da vazão no rio e no arroio (Figura 16), em diferentes níveis, por 6 vezes (09/08/2020, 12/10/2020, 18/12/2020, 21/01/2021, 21/01/2021 e 29/06/2021).

Figura 16 - Medição de vazão no arroio Perdizes utilizando Micromolinete.

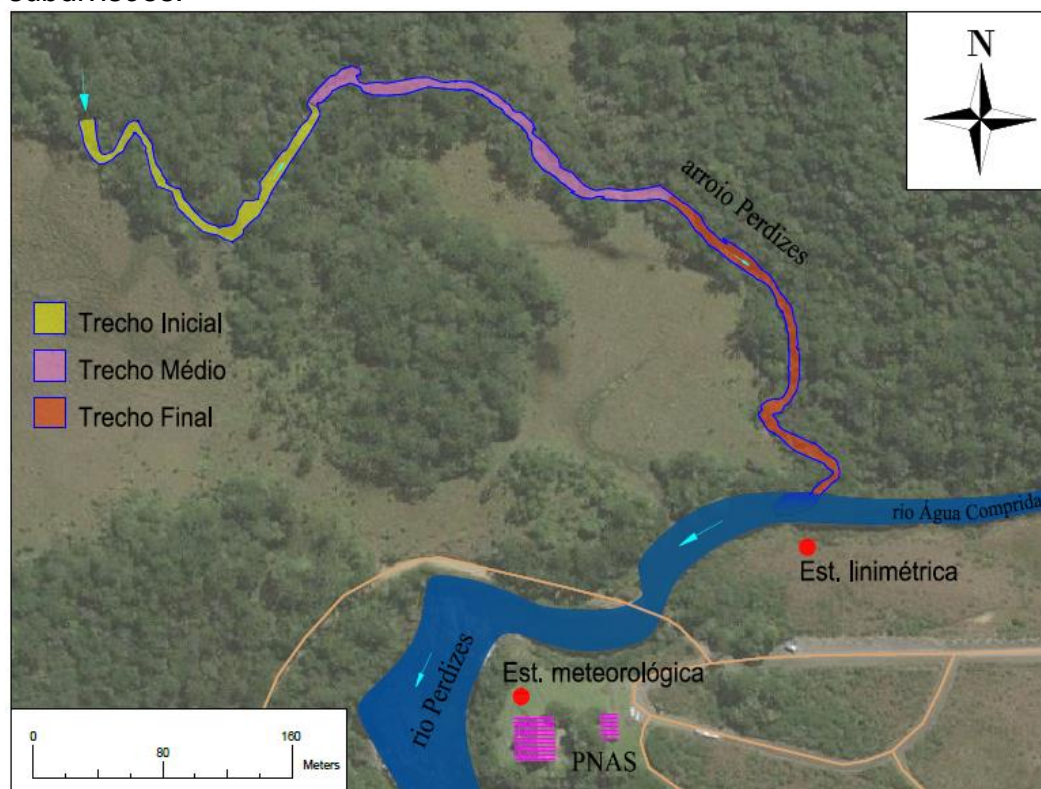


#### 4.3 CARACTERIZAÇÃO DO ARROIO PERDIZES

O trecho do arroio Perdizes monitorado possui, aproximadamente, 750 metros de extensão, a partir da sua foz, e foi dividido em 3 trechos menores (Figura 17). A seção junto à foz foi escolhida porque apresenta LW em abundância, fica próxima aos aparelhos de monitoramento e também porque é bem protegida, sem acesso de turistas.



Figura 17 – Localização das estações e do trecho analisado do arroio Perdizes e suas subdivisões.



A separação em trechos foi realizada em função das diferentes características topográficas, entre elas declividade, sinuosidade e morfologia fluvial dominante.

O levantamento topográfico foi realizado de março/2018 a abril/2019 para a descrição detalhada do perfil longitudinal do arroio Perdizes, levantamento e monitoramento de seções transversais do arroio. Para isso, utilizou-se uma Estação Total Topcon© modelo CTS3007 (Figura 18) e GPS RTK GNSS Trimble© modelo R8. A vegetação densa existente prejudica a visibilidade das margens, bem como o recebimento do sinal pelos equipamentos. O detalhamento do canal e plotagem dos resultados foi feito por meio da utilização do software Autocad Civil 3D©.

Figura 18 - Levantamento topográfico do arroio Perdizes utilizando Estação Total.



Sabendo que é comum a relação entre LW e sinuosidade do canal ( $S$ ), esta também foi determinada:

$$S = \frac{Lt}{Lv} \quad (3)$$

onde  $Lt$  é o comprimento real (m); e  $Lv$  é o comprimento em linha reta (m).

Ainda, após uma cheia registrada no arroio Perdizes, onde o nível extravasou as calhas do rio, foi demarcado no campo dois pontos da área de cheia (coordenadas UTM ponto 1:  $X= 589638.776$ ,  $Y= 6774336.432$ ; ponto 2:  $X= 589470.909$ ,  $Y= 6774473.171$ ) lançado junto ao levantamento no Autocad<sup>®</sup> e calculado os parâmetros para estimativa de velocidade máxima.

A velocidade máxima ( $Vel_{max}$ ) foi calculada a partir da vazão máxima, utilizando  $n = 0,05 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$  (Equação 4):

$$Vel_{max} = \frac{1}{n} \cdot R_h^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (4)$$

Como forma de caracterização do arroio, a competência do mesmo, ou seja, tamanho máximo de partícula que pode ser carregada, foi avaliada com dados de velocidade média do fluxo e diâmetro de sedimentos medidos em campo. Através do



diagrama de Hjülstrom (1939), observou-se que o arroio está, em geral, em uma zona de erosão. A aplicação direta do diagrama Hjülstrom (1939) pode implicar em erros, pois as condições ambientais deste estudo são diferentes das originais geradoras do diagrama (areias uniformes).

A estabilidade do canal foi avaliada pelo monitoramento da forma dos perfis transversais, onde grandes alterações indicariam tendências erosivas. Após a finalização da topografia, 4 seções transversais com influência de LW foram demarcadas com estaca (pontos de início e fim) e monitoradas por 15 meses – de setembro de 2019 a dezembro de 2020 (Figura 19), para acompanhamento de eventuais mudanças no alargamento do canal pela intensificação de processos erosivos, ou seja, a se há influência desses materiais na estabilidade dos taludes. Realizou-se as medições utilizando Nível Topcon© Modelo AT B4 e Estação Total (Figura 20).

Figura 19 - Localização das seções transversais monitoradas no arroio Perdizes.



A Seção A fica a jusante de um trecho com grande deposição de detritos lenhosos de grande porte, a Seção B é no início deste trecho, a montante, logo acima do primeiro tronco. A Seção C é após uma acumulação que se mostrou



temporária de LW, e a Seção D é anterior a ela, em um ponto de piscina, com deposição de alguns LW.

Figura 20 - Monitoramento de seção transversal demarcada com estaca no arroio Perdizes.



Os resultados foram analisados conforme a área molhada da seção e também pelo parâmetro estatístico proposto por Olson-Rutz e Marlow (1992), o Índice de Forma do Canal ( $F$ ), calculado pela equação:

$$F = \frac{W_{mp}}{D_{mp}} \quad (5)$$

onde  $W_{mp}$  é a largura do canal em nível de margens plenas (m); e  $D_{mp}$  é a profundidade média do canal (m).

A diferença obtida pela comparação entre dois levantamentos consecutivos ( $\Delta F$ ) indicará a tendência erosiva (valores negativos) ou deposicional (valores positivos) do canal em relação às deposições de LW.

#### 4.3.1 Influência na velocidade do fluxo

A influência da presença de LW sobre a velocidade do fluxo foi avaliada em 4 perfis transversais do arroio Perdizes, sendo estes definidos pela presença de ao menos um detrito lenhoso, em um vertical qualquer (Figura 21). As verticais foram medidas detalhadamente com uso do micromolinete, em diferentes níveis, nos dias

21/01/2021 ( $Q_{m\acute{e}dia} = 0,54 \text{ m}^3/\text{s}$ ), 20/02/2021 ( $Q_{m\acute{e}dia} = 0,24 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e 29/06/2021 ( $Q_{m\acute{e}dia} = 0,23 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Figura 21 - Perfis transversais utilizados para medição da velocidade média sob diferentes níveis.



Desta forma, foi possível verificar como os LW atuavam na variação da velocidade do fluxo dentro de um mesmo perfil transversal.

#### 4.3.2 Simulação das velocidades com o HEC-RAS

A partir do levantamento topográfico detalhado, foi gerado um MDT e inserido no modelo HEC-RAS 5.0.7 1D para simulação do escoamento e visualização das velocidades no canal em diferentes níveis de cheia, para discussão dos resultados.

Para o caso das simulações realizadas em 1D considerando o regime não-permanente, a elevação do nível de água foi computada de uma seção transversal a outra em cada intervalo de tempo através das equações de Saint Venant (USACE-

RAS, 2016b), sendo elas a equação de conservação da massa (Equação 6) e a equação da conservação da quantidade de movimento (Equação 7):

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \cdot \left( \frac{Q^2}{A_T} \right) + g \cdot A_T \cdot \frac{\partial h}{\partial x} + g \cdot A_T \cdot S_f - g \cdot A_T \cdot S_o = 0 \quad (7)$$

onde  $A_T$  é a área total do fluxo ( $m^2$ );  $t$  é o instante de tempo (s);  $x$  é a distância ao longo do canal (m);  $q_l$  é o fluxo lateral por unidade de comprimento ( $m^3/s$ );  $h$  é o nível (m);  $g$  é a aceleração gravitacional ( $m/s^2$ );  $S_f$  é a declividade da linha de energia (m/m); e  $S_o$  é a declividade do fundo (m/m).

Neste estudo a simulação utilizou como dados de entrada o levantamento topográfico detalhado e a série histórica estimada para o arroio Perdizes (período 2018-2020), e considerou ainda:

- Regime não-permanente;
- Aquecimento do modelo: 10 horas;
- Coeficiente de Manning: margens  $0,1 \text{ m}^{-1/3} \cdot s$  e canal  $0,05 \text{ m}^{-1/3} \cdot s$ ;
- Condição inicial: vazão inicial do hidrograma;
- Condição de contorno de jusante: declividade do leito ( $0,005 \text{ m/m}$ );
- Regime de escoamento pelo Número de *Froude*: misto;
- $\theta = 0,6$  (coeficiente de resolução das equações diferenciais – maior precisão do modelo);
- $\Delta t$ : 1 segundo;
- $\Delta x$ : em média, 20 metros, em seções inseridas manualmente considerando curvas e mudanças na largura do canal para melhor representação do escoamento.

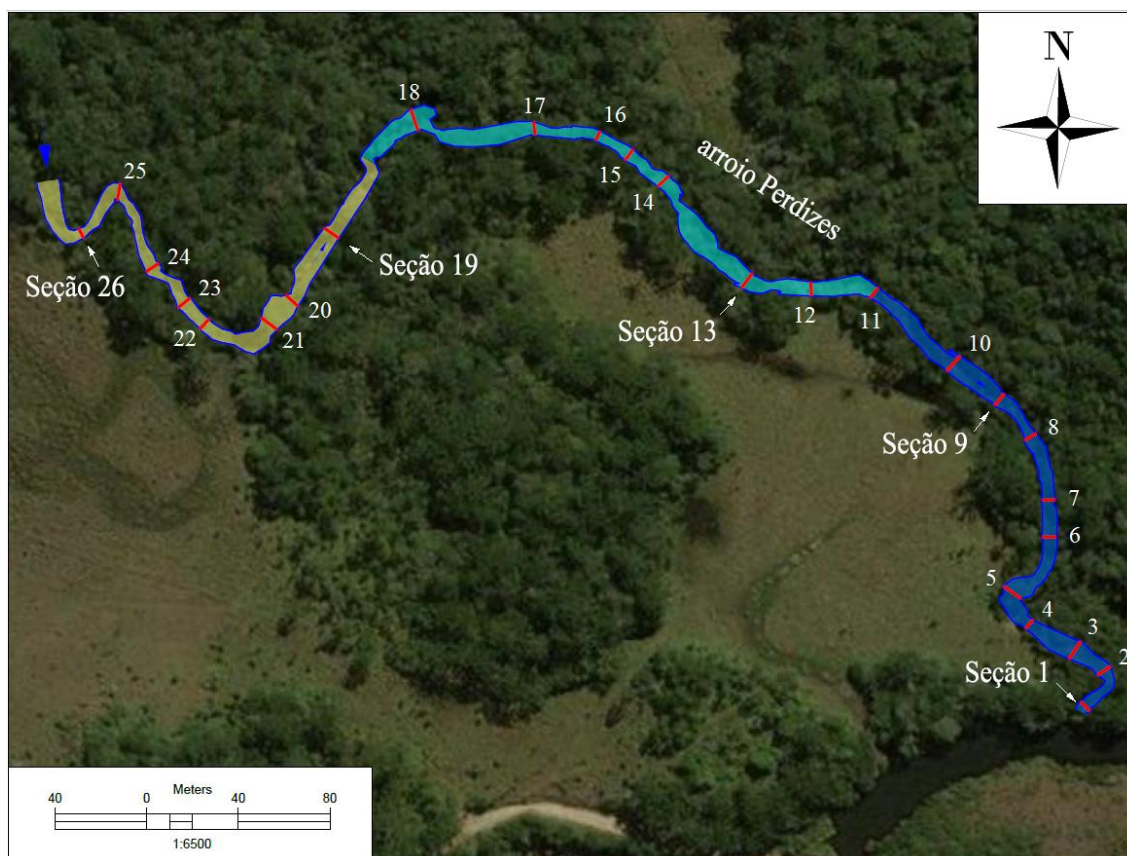
Para calibração dos resultados, foi utilizada uma medição no dia 08/08/20 (15:30h), com a profundidade de água em 0,47 m e velocidade média 0,1375 m/s. Para validação, utilizou-se outra medição realizada no dia 12/10/20 (16h), onde a profundidade de água era 0,53 m e velocidade média 0,1926 m/s. Ambas as medidas foram tomadas no mesmo ponto de controle, próximos à foz (coordenadas UTM X= 589664.397; Y= 6774254.716).



### 4.3.3 Levantamento dos sedimentos de leito

Para comparar a relação entre os sedimentos de fundo e a presença de LW, os sedimentos foram avaliados em seções transversais, com e sem LW, ao longo do trecho monitorado do arroio Perdizes, para a determinação do diâmetro mediano do material de leito ( $D_{50}$ ), bem como dos demais diâmetros característicos de cada seção ( $D_{10}$ ,  $D_{16}$ ,  $D_{84}$ , e  $D_{90}$ ). Ao longo do trecho, 26 seções transversais foram determinadas para levantamento de todos os sedimentos de fundo, em pontos de interesse onde ocorram mudanças no canal (Figura 22).

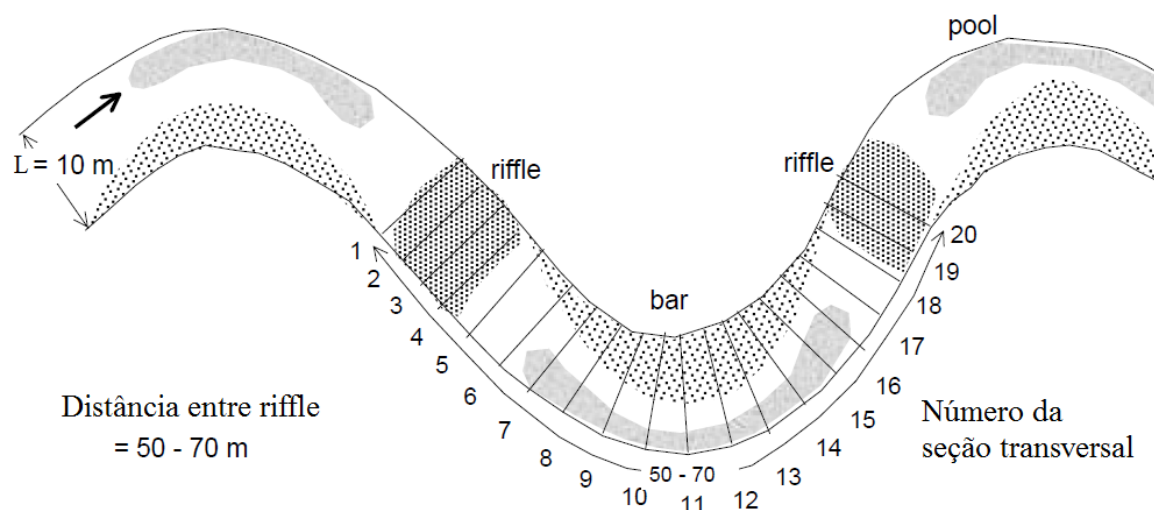
Figura 22 – Localização das seções transversais utilizadas para análise dos sedimentos de fundo.



Os critérios para demarcação das seções para levantamento dos sedimentos de fundo foram a observação de mudanças geomorfológicas no canal (presença de piscinas, *step-pool*, *cascade* e curva de rio) e a presença ou ausência de detritos lenhosos.

Para análise dos sedimentos, aplicou-se a metodologia descrita por Bunte e Abt (2001). Segundo os autores, esta amostragem espacialmente integrada deve ser utilizada em rios heterogêneos, morfologicamente ou sedimentologicamente diversos, assegurando que todas as unidades sejam representadas (Figura 23).

Figura 23 - Grade de amostragem de sedimentos de fundo em trecho em um rio.



Fonte: adaptado de Bunte e Abt (2001).

O procedimento de análise dos sedimentos consistiu na medição da largura da seção, fixação de trena e medição dos sedimentos em intervalos de 0,5 m, se a largura da seção fosse menor que 10 m, e de 1,0 m, se >10 m (Figura 24). Todos os seixos tiveram seus eixos (*A*, *B* e *C*) medidos por meio de paquímetro e suta florestal (*Mantax Blue* – 950 mm), onde assim pode-se obter o diâmetro nominal ( $D_n$ ) (mm) de para cada sedimento.

$$D_n = (A \cdot B \cdot C)^{1/3} \quad (8)$$

onde *A* é o maior diâmetro (mm); *B* é o diâmetro intermediário (mm); e *C* é o menor diâmetro (mm).

Figura 24 – Levantamento dos sedimentos de fundo em seções no arroio Perdizes.



Posteriormente foram calculados os diâmetros característicos de cada seção ( $D_{10}$ ,  $D_{16}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{84}$ , e  $D_{90}$ ). Dentro das seções, para amostras arenosas, a curva granulométrica foi determinada no Laboratório de Sedimentos (LabSed) do IPH (Figura 25).

Figura 25 – Separação e análise dos sedimentos arenosos no LabSed-IPH (UFRGS).



A curva granulométrica foi determinada por meio de peneiramento de amostras coletadas em todo o comprimento de canal analisado. O processo de separação das partículas foi feito com o uso de peneiras com aberturas diferentes aberturas de malha. Em seguida, foi realizada a pesagem do material retido em cada peneira e quantificada a proporção em relação ao peso total da amostra (diâmetro x percentual que passa na peneira).

A resistência ao fluxo foi analisada para determinar o efeito do LW sobre a rugosidade geral do rio. Foram analisados perfis com madeira no canal, onde a resistência é expressa em termos do fator de atrito de Darcy-Weisbach ( $f$ ):

$$f = \frac{8 \cdot g \cdot \bar{h} \cdot I}{Vel^2} \quad (9)$$

onde  $\bar{h}$  é a profundidade média do perfil (m); e  $Vel$  é a velocidade média do fluxo (m/s). A equação (9) tem ampla utilização por sua propriedade adimensional e compatibilidade com equações empíricas de resistência ao fluxo.

Para avaliar a resistência dos grãos ao escoamento, a mesma foi calculada usando uma versão modificada da equação tradicional de Keulegan:

$$f_g = \left( 2,03 \log \left( \frac{12,2h}{k_s} \right) \right)^{-2} \quad (10)$$

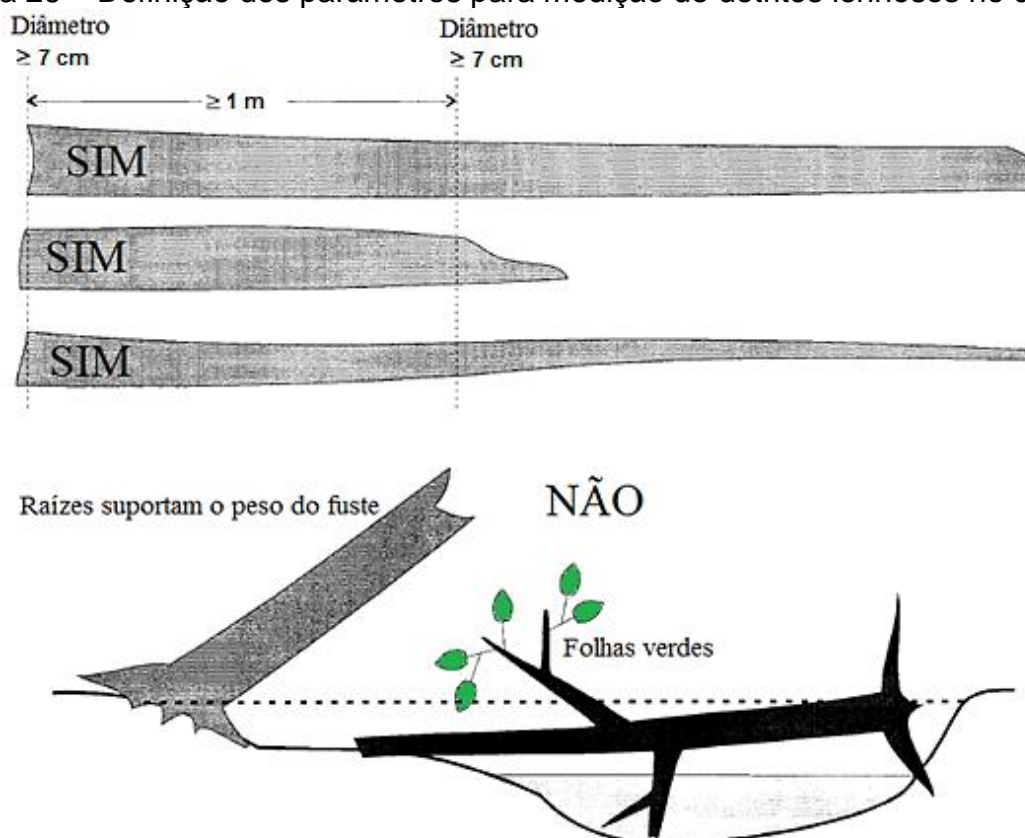
onde  $h$  é a profundidade média do fluxo, no caso de rios largos, sendo igual ao raio hidráulico, neste caso; e  $k_s$  é a altura de rugosidade e considerado igual ao  $D_{50}$  da distribuição granulométrica dos sedimentos, como fizeram Comiti et al. (2008).

#### 4.4 LEVANTAMENTO DOS DETRITOS LENHOSOS

O levantamento quantitativo e qualitativo de LW foi realizado em diferentes épocas do ano (10/07/2019, 19/11/2019, 24/07/2020 e 18/12/2020), intercalando entre inverno e primavera. O material foi dimensionado no local, não sendo retirado ou transferido para outro ponto do canal. Troncos com ramos vivos e presos à margem pelas raízes não foram considerados LW, conforme metodologia de Schuett-Hames et al. (1999) (Figura 26).



Figura 26 – Definição dos parâmetros para medição de detritos lenhosos no canal.



Fonte: Modificado de Schuett-Hames et al. (1999).

Todas as peças de madeira presentes no arroio com diâmetro maior ou igual a 7 cm e no mínimo 1,0 m de comprimento foram medidas com o uso de suta florestal (Figura 27) para determinação do diâmetro e de fita métrica para determinação do comprimento. Essas informações permitem a obtenção de volumetria da peça de madeira.



Figura 27 – Medição de LW no arroio Perdizes utilizando suta florestal.



O volume de cada peça de madeira foi calculado a partir de seu diâmetro máximo, assumindo assim uma forma cilíndrica sólida e assemelhando-se ao DAP, como comumente é feito em estudos florestais, com correção utilizando o Fator de Forma.

A abundância espacial de LW dentro do canal do arroio Perdizes foi feita em termos de volume e número de elementos por trecho (número de peças/m). O volume de cada LW foi definido como:

$$V = L \cdot [(d^2 \cdot \pi)/4] \cdot ff \quad (11)$$

onde  $V$  é o volume ( $m^3$ );  $L$  é o comprimento do LW (m);  $d$  é o diâmetro do LW (m); e  $ff$  é o fator de forma (= 0,7).

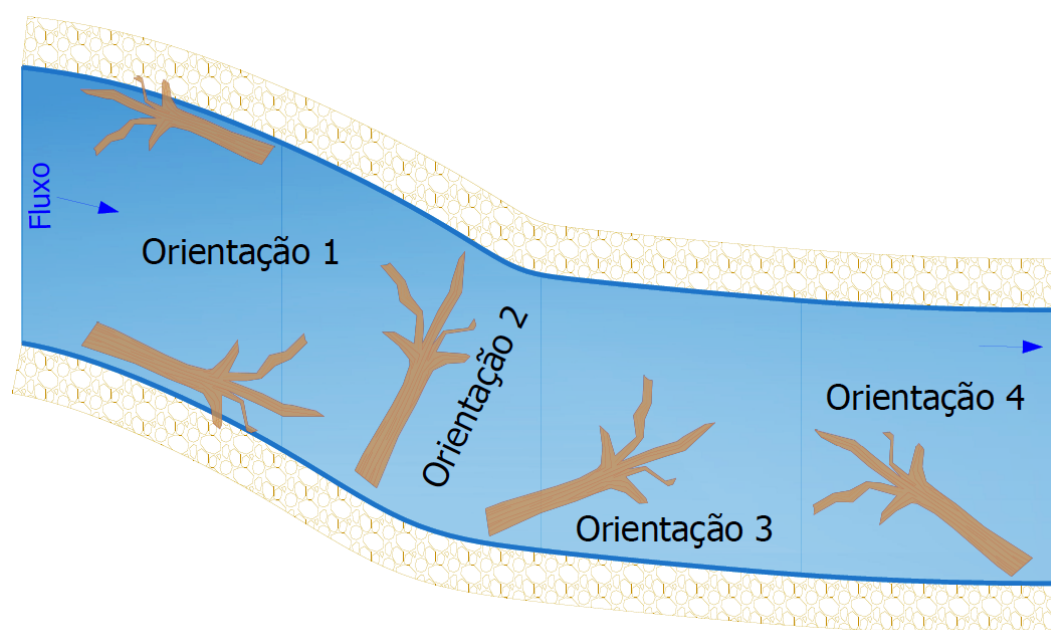
A madeira depositada no canal foi classificada de acordo com a sua origem em coníferas ou folhosas. Nos ecossistemas em que têm distribuição nativa, como na Floresta Ombrófila Mista, as coníferas são consideradas espécies-chave, pois entre vários fatores, são responsáveis por fornecer sombreamento para outras plantas e servem como base para a alimentação de roedores e pássaros. Dentro da área de estudo, há presença marcante da araucária, grande representante das coníferas, sendo um tronco de fácil identificação (Figura 28).

Figura 28 - Identificação de LW da espécie *Araucaria angustifolia* no arroio Perdizes.



A orientação dos LW isolados em relação ao fluxo foi avaliada e classificada como paralela (1), perpendicular (2), ou oblíqua (3)(4) (Figura 29).

Figura 29 - Categorias utilizadas para definição da orientação dos LW no arroio Perdizes.



Fonte: Baseado em Baillie e Davies (2002).



A dinâmica dos LW ao longo de 17 meses e as variações da carga total de madeira para os diferentes trechos do canal e entre os diferentes períodos foram avaliadas pela análise da presença e da localização dos LW. Para tanto, todos os LW foram georreferenciados (Figura 30), sendo que a localização foi obtida com o uso do GPS RTK, sempre no ponto mais a montante da madeira no canal. A localização foi realizada para definir onde os LW tendem a ser encontrados dentro do canal (próximo a meandros, trechos retilíneos, zonas de maior ou menor velocidade). As demais informações coletadas estão demonstradas na ficha de campo – Apêndice A (Figura A1).

Figura 30 - Demarcação do LW com GPS RTK, no ponto a montante em relação ao fluxo.



A taxa de mortalidade, em termos de biomassa (Mg/ha/ano), foi fornecida pelo Laboratório de Ecologia Vegetal (LEVEG) da UFRGS, sendo obtida de uma parcela permanente localizada a aproximadamente de 800 metros do arroio Perdizes (coordenadas -29,1600; -50,0900 /Datum Sirgas 2000). Trata-se de uma parcela utilizada para monitoramento de longo prazo da Floresta de Araucária no PNAS.

A biomassa foi quantificada por meio de uma equação alométrica (Equação 12), proposta por Chave et al. (2009) e utilizada na área por Bordin et al. (2021).

$$\text{Biomassa} = 0,0673 \cdot (De \cdot DAP^2 \cdot H)^{0,976} \quad (12)$$

onde  $De$  é a densidade da madeira da espécie ( $\text{g/cm}^3$ );  $DAP$  é o diâmetro a altura do peito (m); e  $H$  é a altura da árvore (m).

Em cada parcela de amostragem do LEVEG, todas as árvores vivas com DAP  $\geq 10$  cm tiveram seu diâmetro medido e sua altura estimada a olho nu ou laser, e todas as árvores foram identificadas até o nível de espécie, em 2014. Em 2019, todos os indivíduos ausentes (assumidamente ou visualmente mortos) foram quantificados. Assim, a partir da biomassa estimada para todos os indivíduos no primeiro tempo, somou-se a biomassa correspondente a esses indivíduos que morreram e assim, foi obtida a biomassa referente à mortalidade, em Megagrama (ou toneladas). Esse dado então foi extrapolado para 1 ha (a parcela possui 0,12 ha) e dividido pelo intervalo de tempo (5 anos), fornecendo assim a quantificação da biomassa perdida por mortalidade em Mg/ha/ano. A quantificação em biomassa possui correlação muito alta com área basal (95%) e mostra mais fielmente a perda em estrutura na floresta ao longo do tempo.

#### 4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para análise das médias das variáveis quantificadas foi realizada a análise da variância e o Teste de Tukey através do Programa estatístico SISVAR 5.0, permitindo assim discutir a significância na variação entre os levantamentos, entre os trechos e entre as espécies.

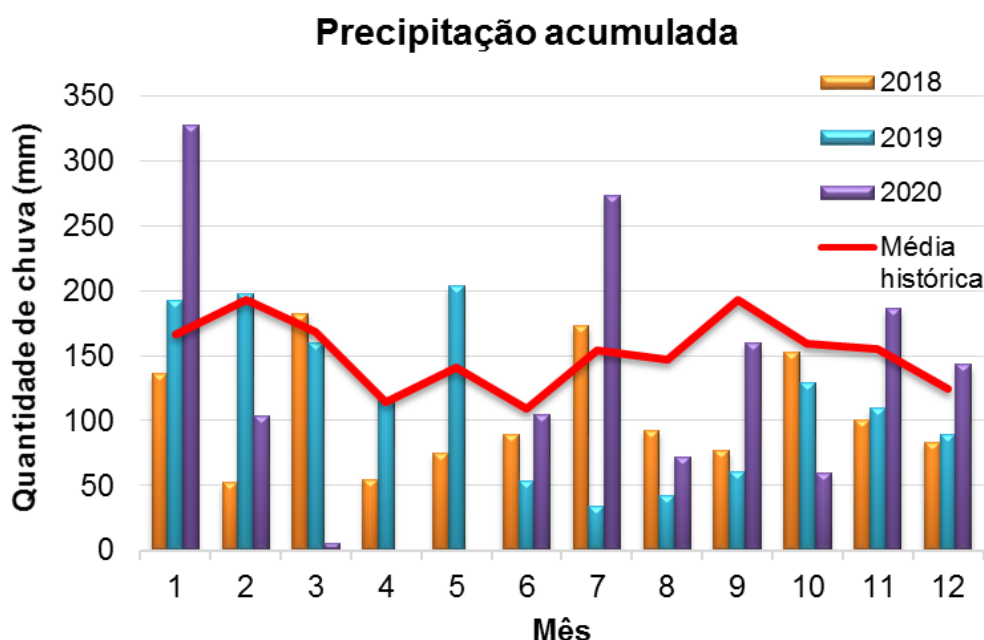
Também foram realizadas análises de correlação entre as variáveis, a fim de verificar quais apresentam maior influência. Para isso, foi utilizado o coeficiente de correlação linear de Pearson ( $r$ ), que indica o grau de intensidade da correlação entre duas variáveis e, ainda, o sentido dessa correlação. Varia de -1 (correlação negativa) a +1 (correlação positiva).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA

A precipitação mensal ocorrida na bacia do rio Perdizes foi menor do que a média histórica registrada em Cambará do Sul (RS) (Figura 31). Ressalta-se que no período confirmou-se a ocorrência do fenômeno La Niña (2017-2018; 2020-2021), que consiste no resfriamento anormal do Oceano Pacífico Equatorial. Na região sul do Brasil, provoca principalmente estiagens, principalmente no inverno.

Figura 31 – Precipitação mensal observada\* na bacia do rio Perdizes.



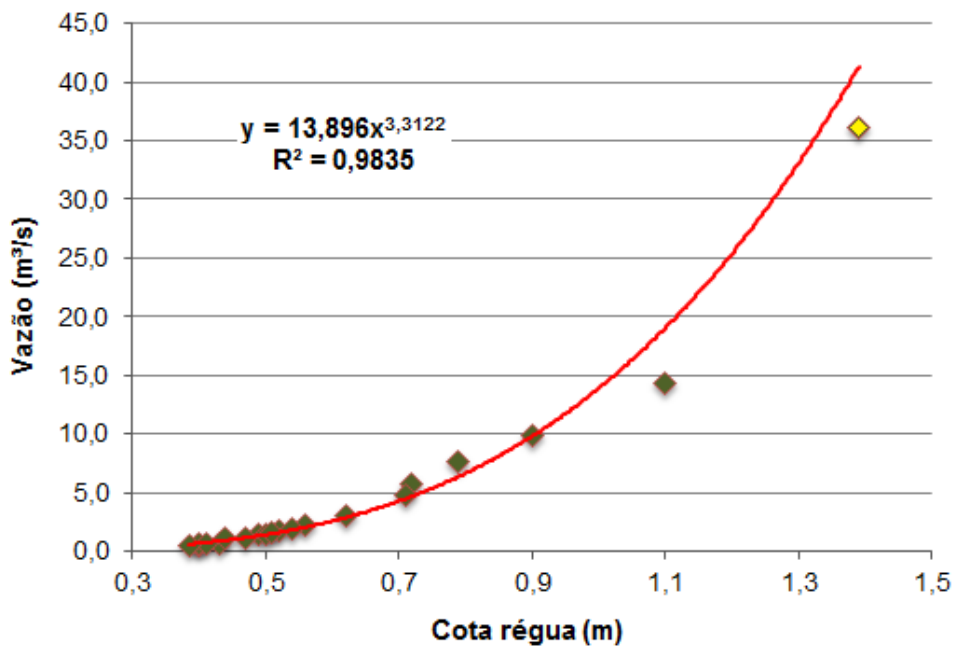
\*a série não foi registrada entre 16/03/20 e 05/06/20.

A estimativa da vazão no rio Perdizes (Equação 13; Figura 32) foi elaborada a partir de 19 medições em campo, sendo que o ponto de maior vazão na curva-chave foi estimado em 36,1 m<sup>3</sup>/s pela Equação (2).

$$Q = 13,896 \cdot h^{3,3122} \quad (13)$$

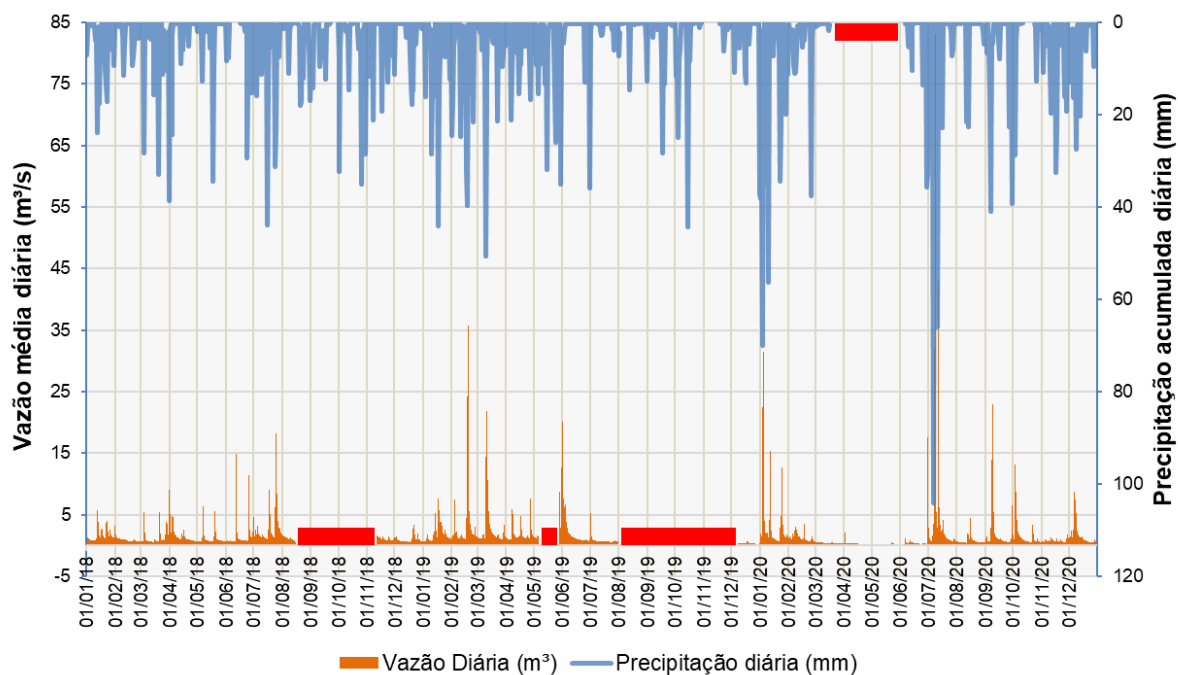
onde  $h$  é nível (m).

Figura 32 - Curva-chave para estimativa de vazão no rio Perdizes, onde o ponto amarelo representa a extrapolação calculada pela Equação (2).



Com o banco de dados de chuva e vazão, foi possível esboçar o hidrograma diário do rio Perdizes, juntamente com o hietograma diário (Figura 33). Em 2020 observou-se maior ocorrência de eventos extremos.

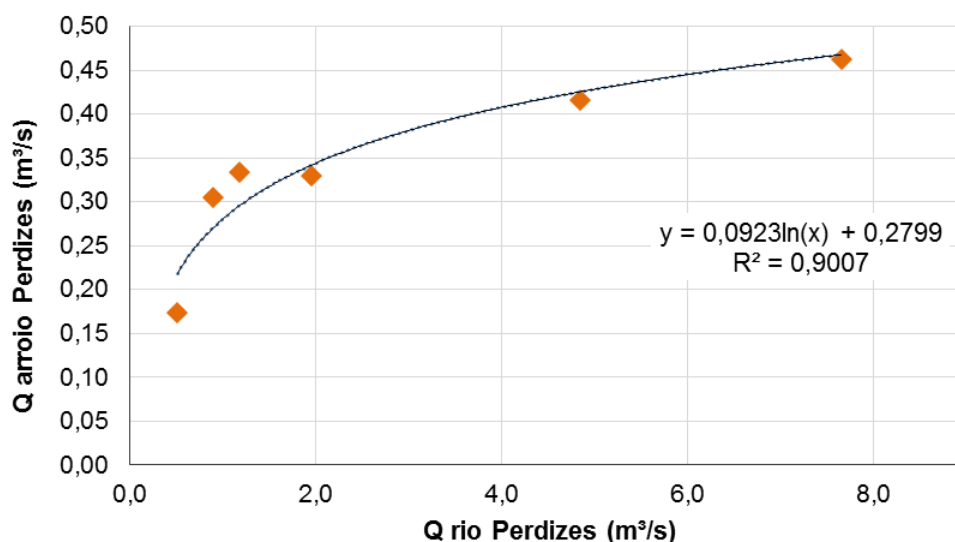
Figura 33 – Hietograma e hidrograma diário do rio Perdizes, onde as barras vermelhas são falhas na série.



Com as medições concomitantes de vazão, a relação entre as vazões (Equação 14) pode ser observada na Figura 34.

$$Q_{\text{arroio}} = 0,0923 \cdot \ln(Q_{\text{rio}}) + 0,2799 \quad (14)$$

Figura 34 – Relação entre as vazões do rio Perdizes e do arroio Perdizes.



A conformação dessa relação pode ser influenciada por diversos fatores, entre eles a influência das cheias do rio Perdizes, que pode formar um remanso junto à foz do arroio, e a ocorrência de chuvas irregulares na bacia, pois em alguns momentos estação meteorológica registrou precipitação, mas o nível do rio Perdizes não se alterou. Outro fator é a cobertura do solo, pois como pode-se observar na Figura 10, e segundo os dados do IBGE (2010), o arroio Perdizes possui 63% de cobertura florestal em seu território, enquanto na bacia total do rio Perdizes essa taxa diminui para 51%. A maior ocupação florestal oferece maior interferência nas taxas de escoamento superficial e na infiltração.

Vários eventos de cheia ocorreram no período monitorado, o que muitas vezes inviabilizou as coletas no local (Figura 35).



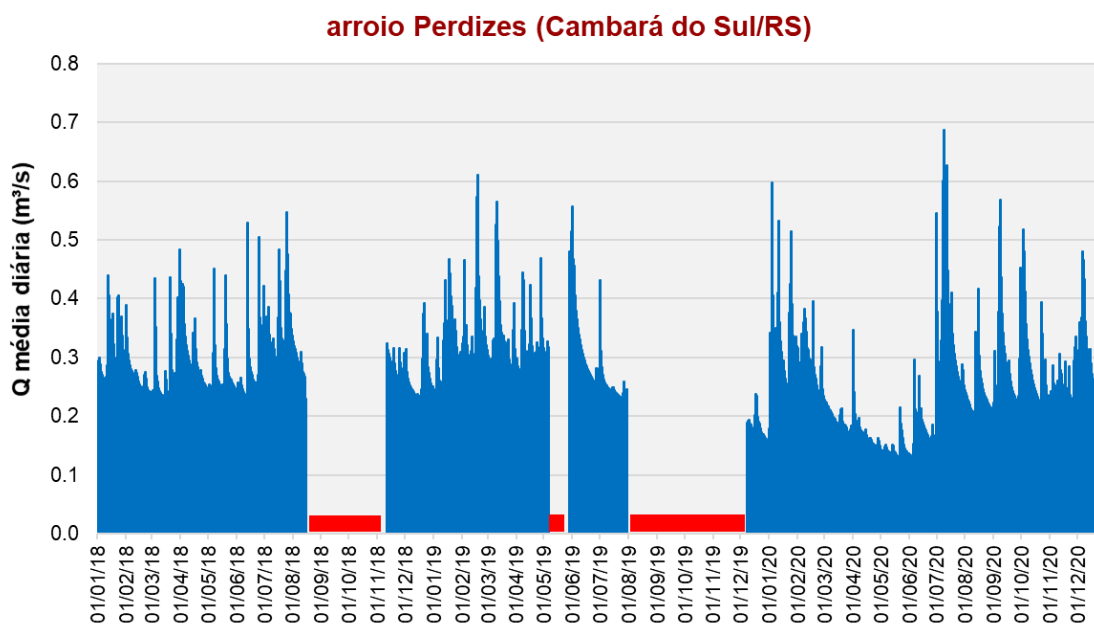
Figura 35 – Vista do arroio Perdizes em um nível alto, registrado no dia 28/05/19 às 10h da manhã\*. Coordenadas  $-29.157538^\circ$ ,  $-50.078240^\circ$  (Datum Sirgas 2000).



\*vazão estimado em  $0,5169 \text{ m}^3/\text{s}$  pela relação entre as vazões dos rios.

O tempo de concentração na bacia do arroio Perdizes é de 138 minutos. Na Figura 36 observa-se o hidrograma obtido com a relação entre as vazões, do rio e do arroio, utilizando a Equação (14).

Figura 36 – Hidrograma do arroio Perdizes a partir da relação entre as bacias hidrográficas, sendo que as barras vermelhas são falhas na série.





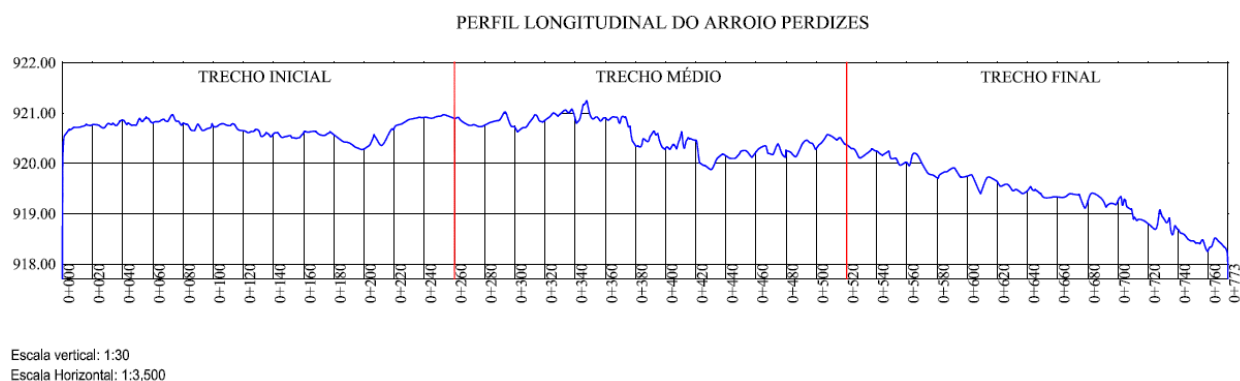
## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DO ARROIO PERDIZES

O levantamento ocorreu a partir da foz (Figura 37). O trecho final do rio possui maior declividade em relação aos trechos anteriores, sendo demarcado por alguns *step-pool* (Figura 38).

Figura 37 - Início do levantamento topográfico na foz do arroio Perdizes, em março de 2018.



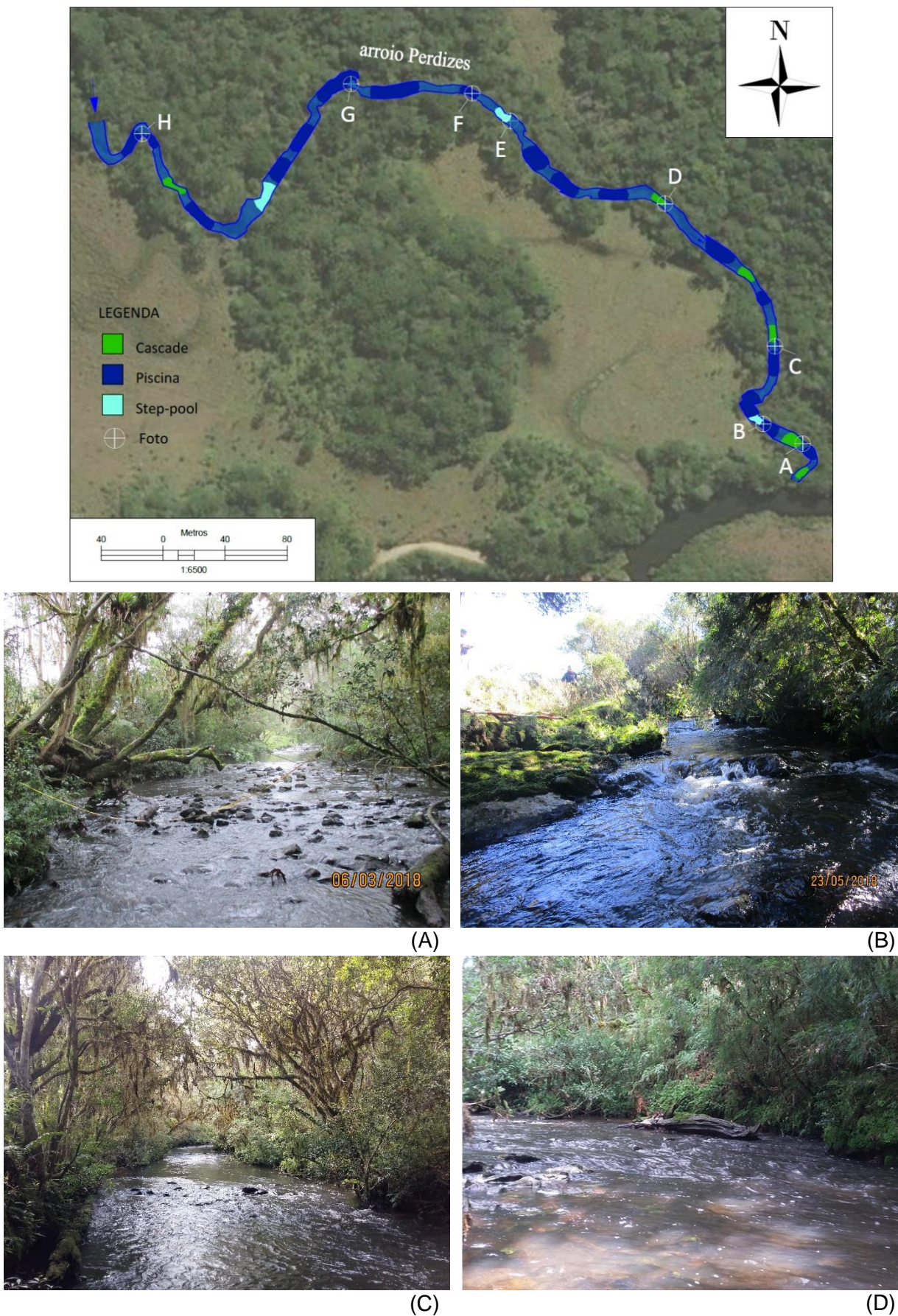
Figura 38 - Perfil longitudinal do canal, no trecho monitorado do arroio Perdizes.



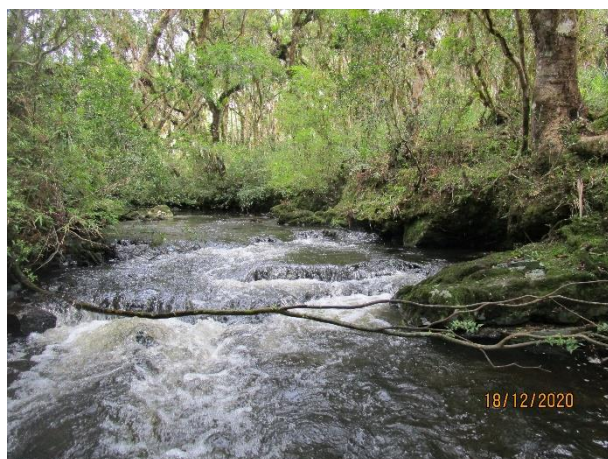
O mapeamento das principais unidades de canal no trecho em estudo está demonstrado na Figura 39, ilustrado ainda com algumas fotos.



Figura 39 - Mapeamento das principais unidades de canal no trecho em estudo, com detalhamento fotográfico.







(E)



(F)



(G)



(H)

O trecho inicial é mais sinuoso e com menor declividade, já o trecho médio é caracterizado por um grande número de piscinas e pouca sinuosidade (Tabela 2).

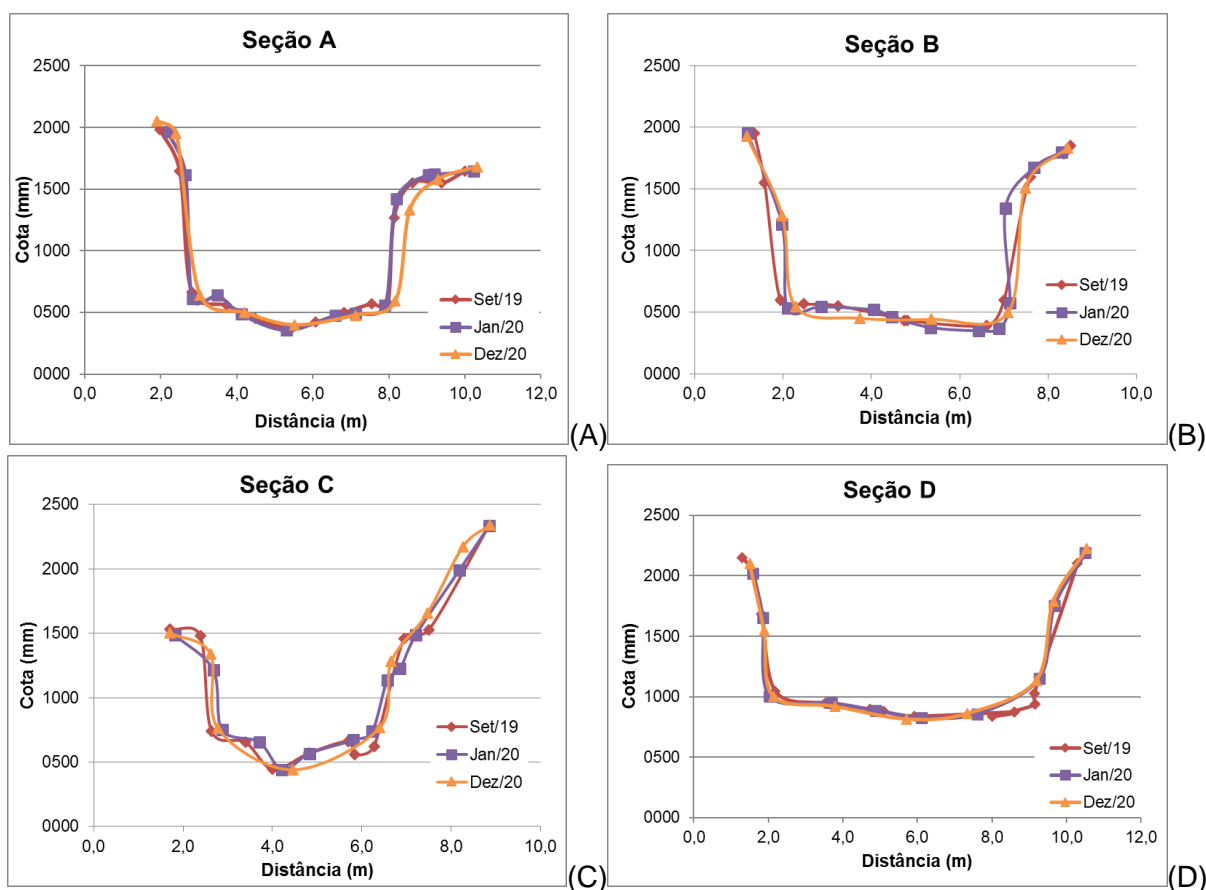
Tabela 2 – Detalhamento dos trechos analisados no arroio Perdizes (RS).

	<b>Trecho inicial</b>	<b>Trecho médio</b>	<b>Trecho final</b>
Comprimento de rio (m)	260	260	255
Largura média do canal (m)	6,91	7,02	6,34
Declividade média (%)	0,28	0,54	0,84
Sinuosidade (m/m)	1,82	1,13	1,24
Característica predominante	Curvas acentuadas	Piscinas	<i>Step-pool</i>

O monitoramento das seções transversais indicou que todas sofreram, em maior ou menor grau, tendências erosivas (Figura 40). A Seção D teve maior alteração, principalmente no último intervalo de medição, estando localizada a

montante de LW. Na seção C, a jusante de LW, a erosão ocorreu principalmente das margens.

Figura 40 – Monitoramento da estabilidade de seções transversais com LW, ao longo de 15 meses: (A) Seção A; (B) seção B; (C) seção C; e (D) seção D.



Binda e Fernandez (2011b) detectaram um predomínio de processos erosivos a montante de acumulações e de deposição a jusante, o que não foi verificado neste estudo.

A variação do Índice de Forma do Canal ( $\Delta F$ ) (Tabela 3) não conseguiu expressar uma relação entre tendência erosiva as deposições de LW no arroio Perdizes, já que foram modificações pouco expressivas.

Tabela 3 – Estabilidade das margens do arroio Perdizes através da variação do Índice de Forma do Canal ( $\Delta F$ ).

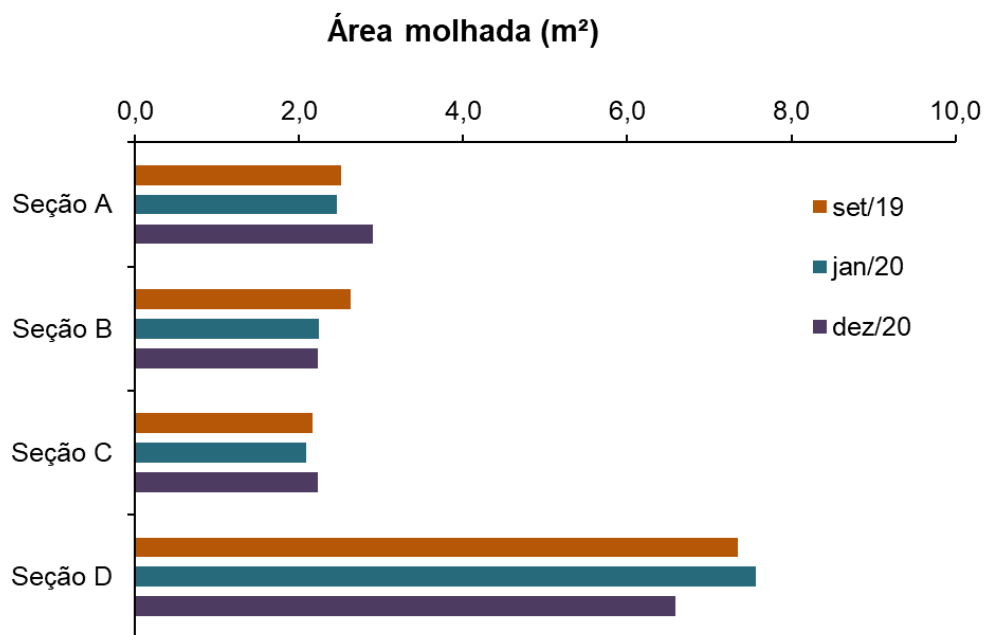
Seção transversal	Localização para LW	Tempo transcorrido (dias)	Precipitação acumulada (mm)	Campanha	$\Delta F$	Processo
A	Jusante	122	586,9	Set/19- Jan/20	- 0,5	Erosão
		370	1306,6	Jan/20- Dez/20	- 0,7	Erosão
B	Montante	122	586,9	Set/19- Jan/20	0,1	Estabilidade
		370	1306,6	Jan/20- Dez/20	- 0,2	Erosão
C	Jusante	122	586,9	Set/19- Jan/20	- 0,8	Erosão
		370	1306,6	Jan/20- Dez/20	- 0,8	Erosão
D	Montante	122	586,9	Set/19- Jan/20	- 0,6	Erosão
		370	1306,6	Jan/20- Dez/20	- 0,9	Erosão

Os processos erosivos observados podem ser consequência de eventos extremos que ocorreram na bacia durante o período de monitoramento. Ainda, considerando a análise dos taludes, o tipo de solo predominante CHa (Cambissolo) são solos pouco desenvolvidos, com baixo teor de argila e propensos à erosão hídrica (MSRS, 2021).

A modificação de canais afetados pela presença de LW depende, principalmente, da existência de uma grande acumulação, expressiva a ponto de alterar a rugosidade do canal, e de fluxos com competência para remobilização do material de leito. A existência dos LW permite a geração de fluxos com magnitudes diferentes de tensão de cisalhamento, que ensejam processos de erosão ou de sedimentação no canal (BINDA e FERNANDEZ, 2011b).

Analisando a geometria das seções, a área molhada (Figura 41) não demonstrou grandes alterações na forma do leito fluvial.

Figura 41 - Modificações na área molhada nas seções monitoradas.



### 5.3 DETRITOS LENHOSOS NO ARROIO PERDIZES

Sabe-se que o aporte de madeira ao rio se dá pela zona ripária. Na bacia de estudo, grandes acumulações de LW estáveis, formando barramentos, são raras. Entretanto, várias acumulações temporárias ocorreram durante o período de monitoramento (Figura 42), sendo transformadas após grandes precipitações. Visualmente, os principais mecanismos de recrutamento de LW da zona ripária para o arroio Perdizes foram mortalidade natural, queda pelo vento ou tombamento por erosão das margens do curso de água, de forma que desmatamento não foi observado na bacia de estudo.



Figura 42 - Acumulações temporárias de LW no canal do arroio Perdizes.



(A)



(B)

As taxas de recrutamento de LW pelo mundo refletem as variações nas características da floresta e nos processos que movem a madeira pelos rios. Cada fisionomia florestal é caracterizada por determinada produtividade primária, densidade de povoamento, diâmetro e altura das árvores, espécies (que influenciam a densidade da madeira, forma da peça e taxa de decomposição), sendo que todos

esses fatores diferem substancialmente entre regiões bioclimáticas, e até mesmo dentro de uma mesma bacia hidrográfica, se esta abranger uma amplitude suficiente de altitude ou latitudinal (WOHL et al., 2019).

As campanhas de levantamento das informações biométricas dos LW permitiram uma caracterização dos fragmentos florestais que chegam até o canal do arroio Perdizes (Tabela 4), destacando a presença marcante da espécie dominante (araucária).

Tabela 4 – Abundância, diâmetro e comprimento médio, volume total e origem dos LW existentes em trecho do arroio Perdizes.

Parâmetros biométricos	Trecho inicial				Trecho médio				Trecho final				
	JUL 2019	NOV 2019	JUL 2020	DEZ 2020	JUL 2019	NOV 2019	JUL 2020	DEZ 2020	JUL 2019	NOV 2019	JUL 2020	DEZ 2020	
Abundância (Número de peças/m)	0,17	0,18	0,16	0,16	0,26	0,37	0,26	0,28	0,17	0,21	0,13	0,17	
Diâmetro médio (m) <sup>ns</sup>	0,19	0,17	0,19	0,18	0,19	0,16	0,18	0,16	0,21	0,19	0,23	0,21	
Comprimento médio (m) <sup>ns</sup>	3,65	3,05	3,06	3,31	3,02	2,79	2,86	2,79	3,33	2,97	3,66	3,19	
Volume total (m <sup>3</sup> /seção)	4,66	3,68	3,52	3,68	7,14	7,15	5,01	4,56	6,09	6,48	6,80	6,33	
Origem (%)	Araucária	20,5	16,7	19,5	23,8	22,1	20,0	23,5	22,2	23,3	25,9	30,3	34,1
	Decíduas	79,5	83,3	80,5	76,2	77,9	80,0	76,5	77,8	76,7	74,1	69,7	65,9

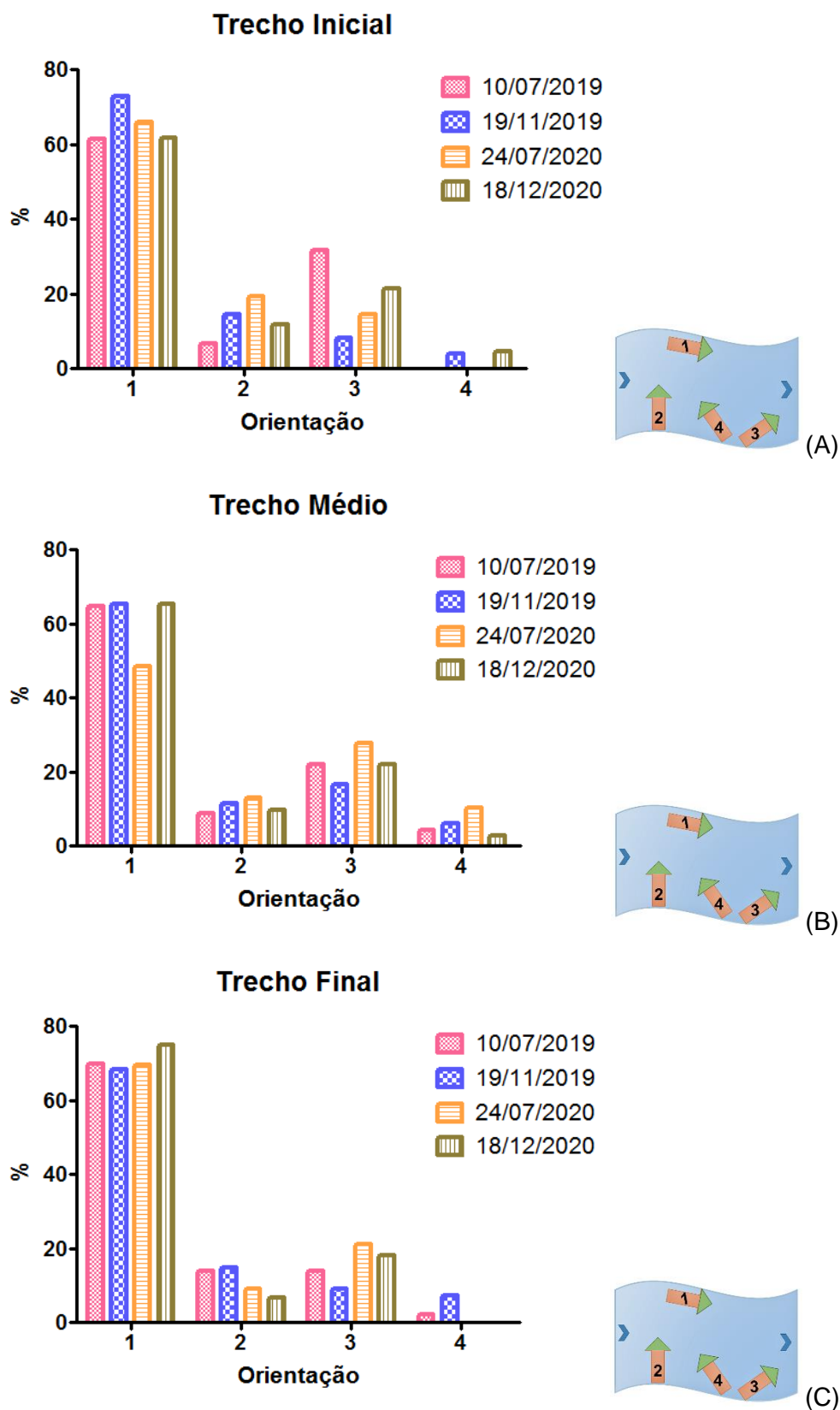
<sup>ns</sup> Médias de diâmetro e comprimento não diferem significativamente entre os trechos em cada levantamento, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Enfatiza-se a presença marcante de grandes indivíduos, muitas vezes até árvores inteiras, dentro do canal. A explicação mais provável para esse fenômeno é a tendência das árvores se inclinarem na direção de níveis de luz mais altos, que ocorrem fora da floresta densa, sobre o canal do rio, ficando também mais suscetíveis a fortes ventos e ao desmoronamento das margens durante cheias (BAILLIE; DAVIES, 2002). No arroio Perdizes, muitos troncos de araucária acabaram sendo incorporados pelo talude fluvial, já que seu tamanho dificulta o transporte pelo rio.

Os resultados de orientação demonstram a predominância da orientação paralela ao fluxo (Figura 43).



Figura 43 – Orientação\* dos LW no arroio perdizes, em %, onde (1) representa paralela (2) perpendicular e (3) (4) oblíquas; sendo (A) trecho inicial, (B) trecho médio, (C) trecho final.



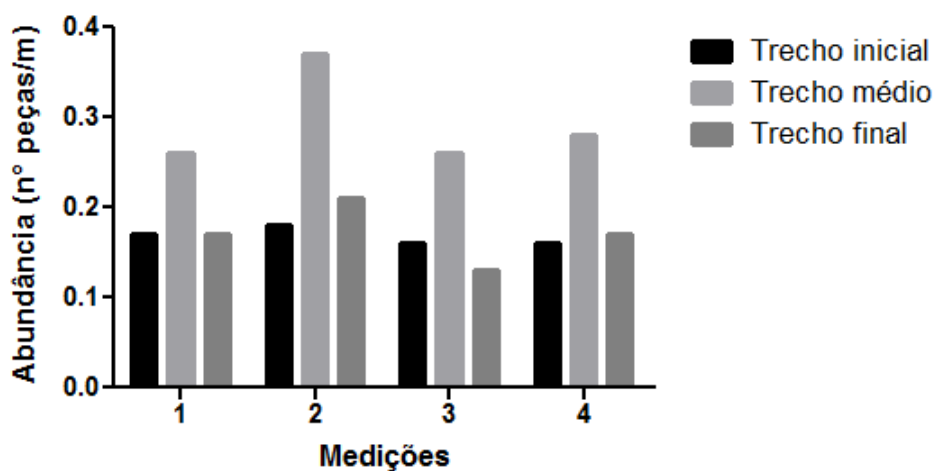
\*as orientações não diferem significativamente entre os levantamentos, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Em trabalho realizado no rio Murray, na Austrália, Hughes e Thoms (2002) observaram que a maior parte dos detritos levantados (37%) estava orientado entre 0° e 30° em relação ao fluxo, mesma tendência observada no arroio Perdizes. Os autores também encontraram uma associação entre a curvatura do trecho de rio e o nº de peças de LW depositadas.

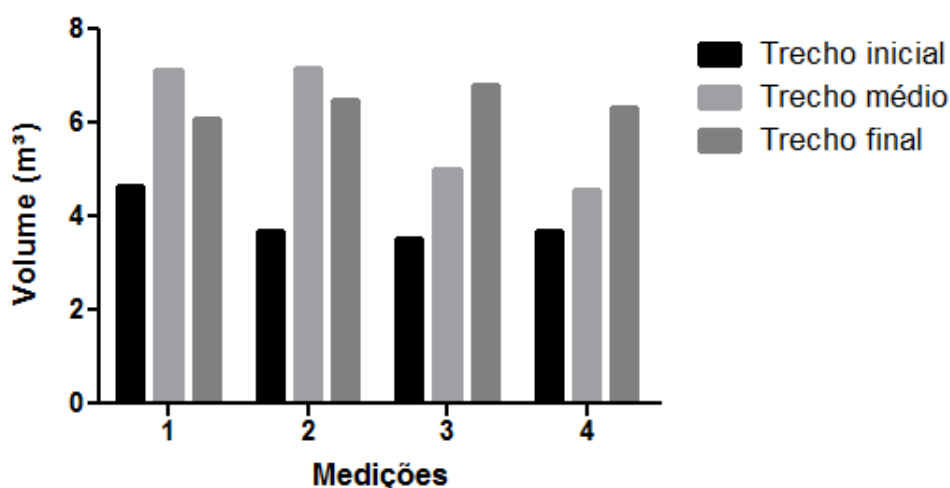
Galia et al. (2018) também observaram uma proporção maior de LW orientada paralelamente à direção do fluxo, o que, segundo os autores, pode sugerir uma maior mobilidade do material do leito nos canais de cabeceira.

Observou-se que houve uma tendência de estabilidade das informações entre as medições, de forma que o trecho médio foi repetidamente mais abundante (Figura 44), entretanto foi onde houve maior diminuição da volumetria total medida. O trecho médio possui menor sinuosidade e predomina a presença de piscinas.

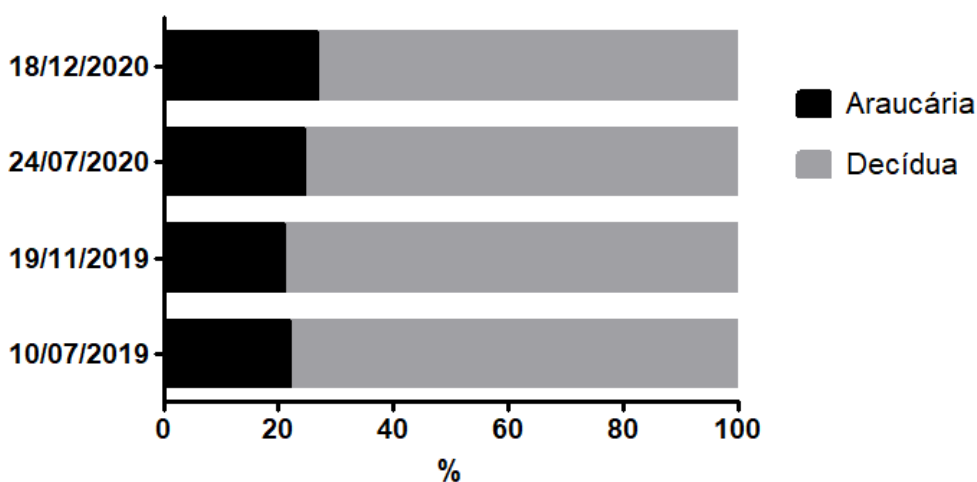
Figura 44 – Demonstração da tendência de estabilidade entre as medições de detritos lenhosos, onde: (A) abundância; (B) volume; e (C) origem dos LW medidos.



(A)



(B)

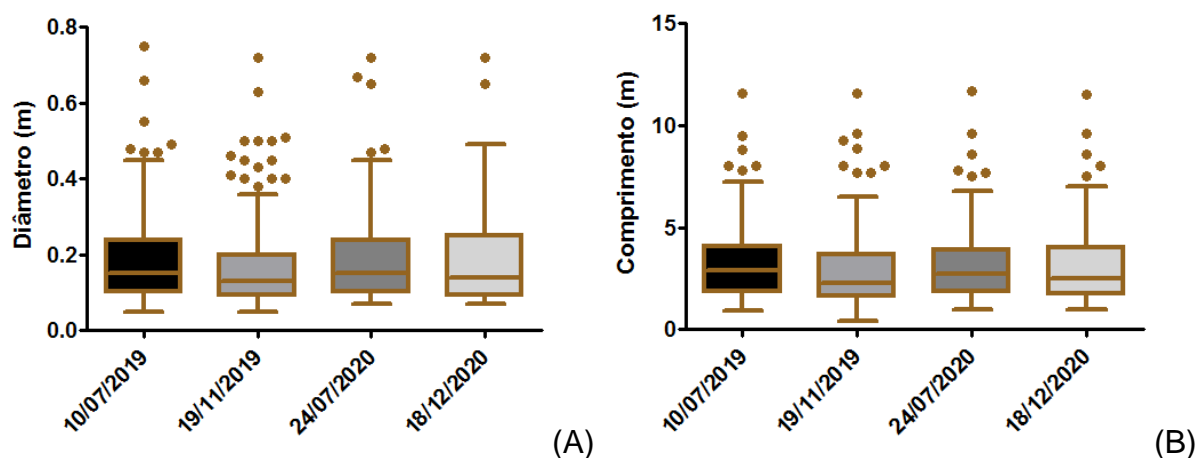


(C)

Ocorreu uma estabilidade da volumetria total entre os levantamentos na bacia do arroio Perdizes, exceto no trecho médio, onde ocorreu uma diminuição. Trechos largos e de baixa declividade tendem a ser mais sensíveis à perturbação de uma grande enchente, enquanto os trechos íngremes e confinados são mais resistentes, e acumulações de LW se formam e desaparecem, mas o recrutamento contínuo de LW para o canal sustenta volumes persistentes de detritos (WOHL; SCAMARDO, 2021).

Há uma similaridade também entre as medianas de diâmetro e comprimento (Figura 45).

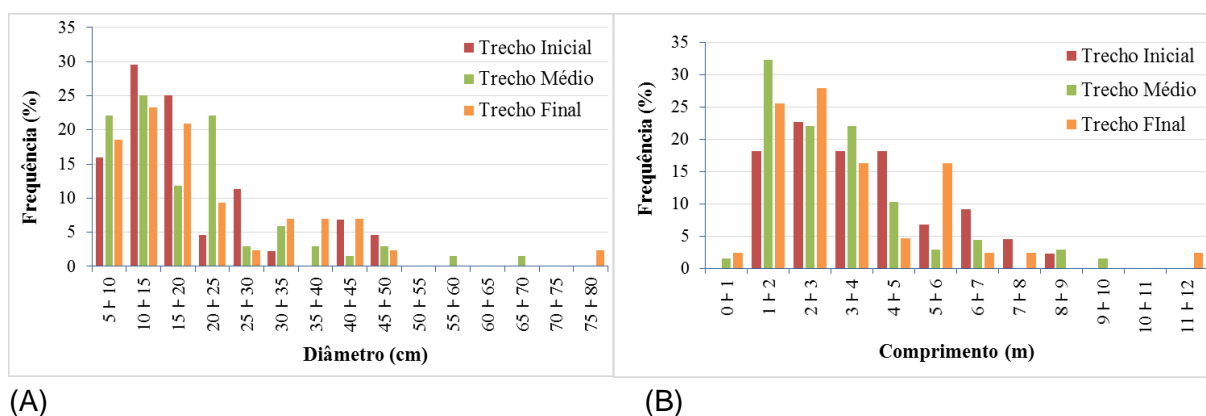
Figura 45 – Distribuição de todos os LW, referente ao diâmetro (A) e comprimento (B) medidos em diferentes períodos.

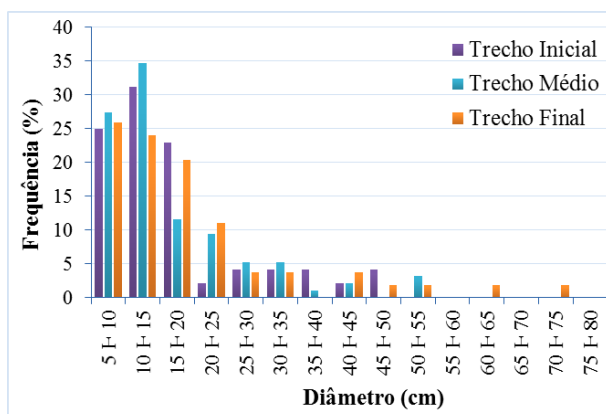


\*A parte inferior e superior da caixa indica o primeiro e o terceiro quartis, respectivamente, a linha dentro da caixa é a mediana e os círculos são pontos discrepantes, segundo Tukey.

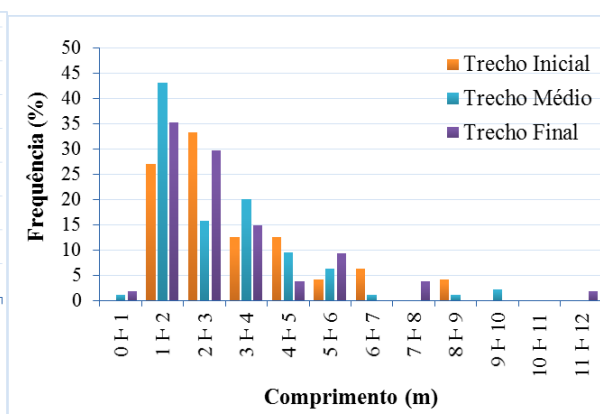
A distribuição das frequências de dimensão dos LW encontrados como peças individuais (Figura 46) demonstra que há uma predominância em diâmetros e comprimentos menores, principalmente até 25 cm e 5 metros, respectivamente.

Figura 46 – Distribuição das frequências de LW segundo diâmetro e comprimento medidos, divididos pelos trechos, em diferentes dias, sendo eles: 10/07/19 (A e B); 19/11/19 (C e D); 24/07/20 (E e F) e 18/12/20 (G e H).

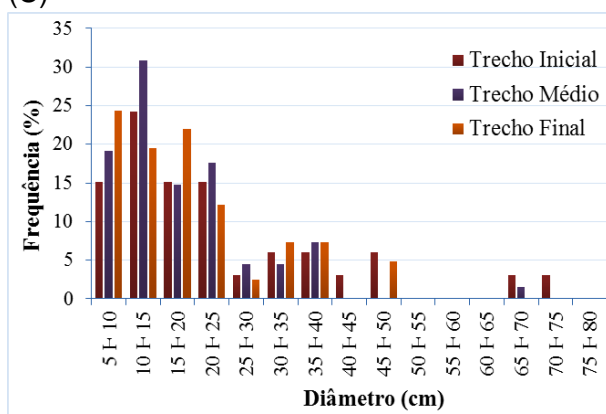




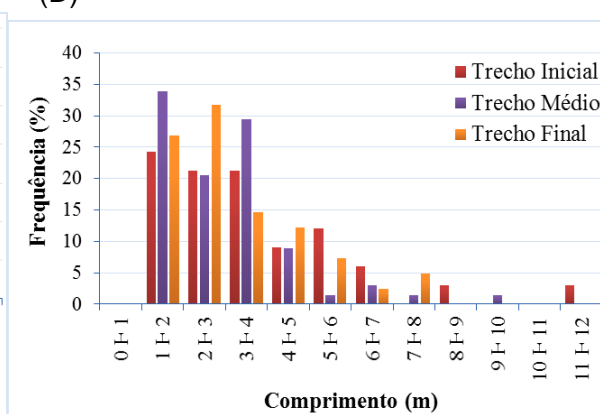
(C)



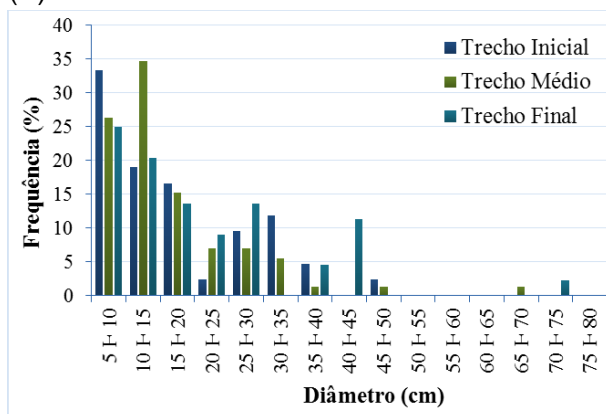
(D)



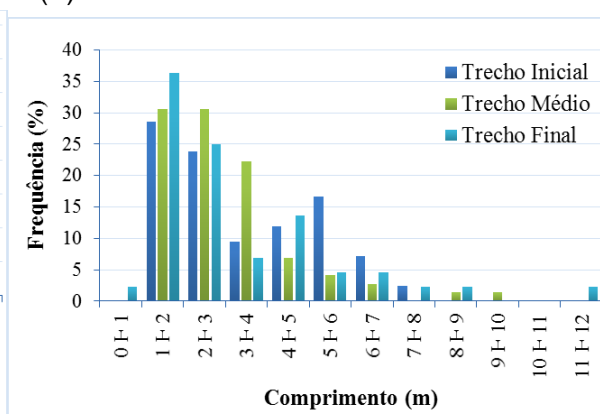
(E)



(F)



(G)



(H)

Ruiz-Villanueva et al. (2016b) concluíram que o diâmetro do LW tem grande influência no transporte de madeira (principalmente considerando um contexto hidrodinâmico de menores nível e velocidade), e que a taxa de transporte diminuiu fortemente com o aumento do volume da peça, embora esta relação não seja linear. Os autores também documentaram uma relação não linear entre o transporte de madeira e a magnitude da inundação, com a taxa de transporte aumentando com a descarga até atingir um ponto de inflexão, e então diminuir ou aumentar lentamente.

Destaca-se a grande participação dos LW remanescentes de araucárias (Tabela 5).

Tabela 5 – Levantamento dos LW nos trechos do arroio Perdizes, separado por origem do indivíduo, durante 17 meses, onde Ar = araucárias e De = decíduas.

Parâmetros		Trecho inicial				Trecho médio				Trecho final				
		JUL 2019	NOV 2019	JUL 2020	DEZ 2020	JUL 2019	NOV 2019	JUL 2020	DEZ 2020	JUL 2019	NOV 2019	JUL 2020	DEZ 2020	
Abundância (Número de peças/m)	Ar	9 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>	10 <sup>a</sup>	15 <sup>a</sup>	19 <sup>a</sup>	16 <sup>a</sup>	16 <sup>a</sup>	10 <sup>a</sup>	14 <sup>a</sup>	10 <sup>a</sup>	15 <sup>a</sup>	
	De	35 <sup>b</sup>	40 <sup>b</sup>	33 <sup>b</sup>	32 <sup>b</sup>	53 <sup>b</sup>	76 <sup>b</sup>	52 <sup>b</sup>	56 <sup>b</sup>	33 <sup>b</sup>	40 <sup>b</sup>	23 <sup>b</sup>	29 <sup>b</sup>	
Diâmetro médio (m)	Ar	0,29 <sup>a</sup>	0,27 <sup>a</sup>	0,31 <sup>a</sup>	0,32 <sup>a</sup>	0,29 <sup>a</sup>	0,22 <sup>a</sup>	0,27 <sup>a</sup>	0,24 <sup>a</sup>	0,37 <sup>a</sup>	0,34 <sup>a</sup>	0,38 <sup>a</sup>	0,32 <sup>a</sup>	
	De	0,16 <sup>b</sup>	0,15 <sup>b</sup>	0,16 <sup>b</sup>	0,13 <sup>b</sup>	0,16 <sup>b</sup>	0,15 <sup>b</sup>	0,15 <sup>b</sup>	0,14 <sup>b</sup>	0,16 <sup>b</sup>	0,13 <sup>b</sup>	0,17 <sup>b</sup>	0,15 <sup>b</sup>	
Comprimento médio (m)	Ar	4,28 <sup>a</sup>	4,10 <sup>a</sup>	3,83 <sup>a</sup>	3,89 <sup>a</sup>	2,97 <sup>a</sup>	2,97 <sup>a</sup>	3,21 <sup>a</sup>	3,21 <sup>a</sup>	3,77 <sup>a</sup>	3,21 <sup>a</sup>	3,86 <sup>a</sup>	3,41 <sup>a</sup>	
	De	3,49 <sup>b</sup>	2,84 <sup>b</sup>	2,87 <sup>b</sup>	3,13 <sup>b</sup>	3,04 <sup>b</sup>	2,75 <sup>b</sup>	2,76 <sup>b</sup>	2,68 <sup>b</sup>	3,20 <sup>a</sup>	2,88 <sup>a</sup>	3,58 <sup>a</sup>	3,08 <sup>a</sup>	
Volume total (m <sup>3</sup> )	Ar	1,82 <sup>a</sup>	1,47 <sup>a</sup>	1,61 <sup>a</sup>	2,32 <sup>a</sup>	2,80 <sup>a</sup>	2,35 <sup>a</sup>	2,75 <sup>a</sup>	2,40 <sup>a</sup>	3,96 <sup>a</sup>	4,85 <sup>a</sup>	4,67 <sup>a</sup>	4,37 <sup>a</sup>	
	De	2,85 <sup>a</sup>	2,21 <sup>a</sup>	1,91 <sup>a</sup>	1,36 <sup>a</sup>	4,35 <sup>a</sup>	4,80 <sup>a</sup>	2,26 <sup>a</sup>	2,16 <sup>a</sup>	2,13 <sup>b</sup>	1,63 <sup>b</sup>	2,13 <sup>b</sup>	1,95 <sup>b</sup>	
Orientação (%)	1	Ar	77,8 <sup>a</sup>	87,5 <sup>a</sup>	75,0 <sup>a</sup>	50,0 <sup>a</sup>	73,3 <sup>a</sup>	68,4 <sup>a</sup>	50,0 <sup>a</sup>	56,3 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	92,9 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>
		De	57,1 <sup>a</sup>	70,0 <sup>a</sup>	63,6 <sup>a</sup>	65,6 <sup>a</sup>	62,3 <sup>a</sup>	64,5 <sup>a</sup>	48,1 <sup>a</sup>	67,9 <sup>a</sup>	60,6 <sup>b</sup>	62,5 <sup>b</sup>	56,5 <sup>b</sup>	62,1 <sup>b</sup>
	2	Ar	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	12,5 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	5,3 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	6,3 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
		De	8,6 <sup>b</sup>	17,5 <sup>b</sup>	21,2 <sup>b</sup>	15,6 <sup>b</sup>	11,3 <sup>b</sup>	13,2 <sup>b</sup>	17,3 <sup>b</sup>	10,7 <sup>b</sup>	18,2 <sup>b</sup>	20,0 <sup>b</sup>	13,0 <sup>b</sup>	10,3 <sup>b</sup>
	3	Ar	22,2 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	12,5 <sup>a</sup>	30,0 <sup>a</sup>	26,7 <sup>a</sup>	15,8 <sup>a</sup>	31,3 <sup>a</sup>	31,3 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
		De	34,3 <sup>a</sup>	10,0 <sup>a</sup>	15,2 <sup>a</sup>	18,8 <sup>a</sup>	20,8 <sup>a</sup>	17,1 <sup>a</sup>	26,9 <sup>a</sup>	19,6 <sup>a</sup>	18,2 <sup>b</sup>	12,5 <sup>b</sup>	30,4 <sup>b</sup>	27,6 <sup>b</sup>
	4	Ar	0 <sup>a</sup>	12,5 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	20,0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	10,5 <sup>a</sup>	18,8 <sup>a</sup>	6,3 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	7,1 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
		De	0 <sup>a</sup>	2,5 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	5,7 <sup>a</sup>	5,3 <sup>a</sup>	7,7 <sup>a</sup>	1,8 <sup>a</sup>	3,0 <sup>a</sup>	5,0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>

\*Médias seguidas de mesma letra entre as linhas não diferem entre si nos meses, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Diferiram significativamente entre araucárias e decíduas, em todos os trechos e nos quatro levantamentos, o diâmetro médio, maior entre as decíduas, e o número de indivíduos de LW.

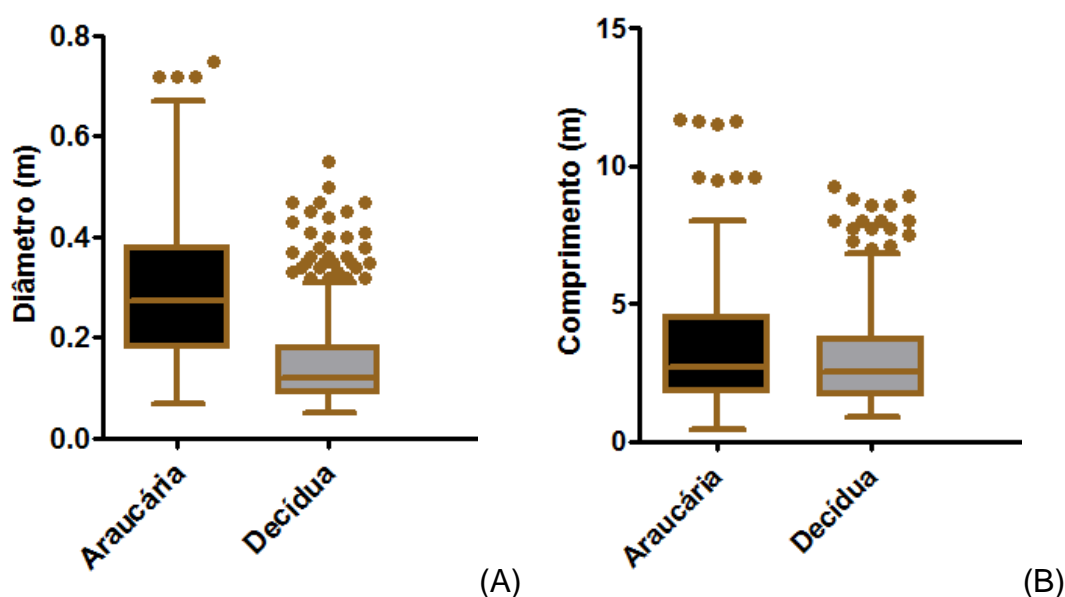
Ainda, segundo a tabela anterior, não diferiu significativamente o comprimento médio apenas no trecho final, mas houve a tendência dos LW de araucárias em ter comprimento maior do que os fragmentos de decíduas. Em relação ao volume total, apenas no trecho final houve diferença significativa em araucárias e decíduas.

No trecho inicial, diferiram significativamente entre araucárias e decíduas apenas para a orientação perpendicular (2). O mesmo ocorreu no trecho médio. No trecho final, as orientações paralela (1), perpendicular (2) e oblíqua (3) diferiram significativamente entre araucárias e decíduas, sendo que ocorreu uma tendência predominante entre orientação paralela e a origem araucária. Isso demonstra porque

foi rara a criação de *step-pool* por troncos. A orientação oblíqua (4) foi a única que não diferiu significativamente entre araucárias e decíduas em nenhum trecho.

Ao observar a distribuição do diâmetro e comprimento dos LW de araucária separadamente dos demais (Figura 47), observa-se que a espécie fornece os maiores detritos, que persistem por anos no canal e dificilmente se fragmentam, como foi observado durante este estudo.

Figura 47 – Distribuição de todos os LW, nos 4 levantamentos, separados pela origem, referente ao diâmetro (A) e comprimento (B) medidos.



\*A parte inferior e superior da caixa indica o primeiro e o terceiro quartis, respectivamente, a linha dentro da caixa é a mediana e os círculos são pontos discrepantes, segundo Tukey.

Durante as campanhas de levantamento, ficou claro que o tipo de espécie pode influenciar a dinâmica dos LW, conforme também afirmaram Watanabe et al. (2013), bem como a importância das grandes árvores ao ecossistema fluvial.

Galia et al. (2018) ao monitorar os LW em três riachos localizados em uma reserva natural, na República Tcheca, concluíram que o volume e a frequência do LW eram relacionados à proporção de coníferas na zona ripária, pois as coníferas tendem a fornecer madeira de dimensões maiores (geralmente árvores inteiras) e com menores taxas de decomposição. O mesmo ocorreu no arroio Perdizes.

Itoh et al. (2010) analisaram esta diferenciação focando nos diferentes valores de peso específico para coníferas e folhosas do Japão, já que coníferas tendem a apresentar uma fase sólida flutuante, e folhosas, submersa. Os testes demonstraram

que a influência do peso específico sobre o movimento da madeira é significativa. No Brasil, poderia se observar a diferenciação da araucária, uma conífera nativa notória, frente ao restante das espécies.

O movimento da madeira inclui duas formas possíveis de mecanismos de transporte (flutuante ou deslizante/rolante) dependendo da densidade da madeira e da profundidade da água, bem como da translação e rotação, quando uma extremidade da peça de madeira se move mais rápido do que a outra e faz com que a peça gire em direção a uma orientação mais paralela ao fluxo (RUIZ-VILLANUEVA et al., 2016b). Ressalta-se que a densidade da madeira varia em função da idade do indivíduo. Segundo a metodologia básica, a araucária possui densidade básica 0,55 g/cm<sup>3</sup> (EMBRAPA, 2006).

No Chile, Iroumé et al. (2018) etiquetaram os LW, mediram o comprimento e o diâmetro, o deslocamento, e também classificaram as peças de acordo com grupos de espécies (latifoliadas, coníferas), tipo (com raízes, árvores inteiras, galhos, etc.) e posição no canal. O deslocamento total do material lenhoso foi influenciado pela característica do LW, onde as peças sem raízes viajaram por distâncias significativamente maiores do que as toras com raízes.

O volume total de madeira medido dentro do canal possui maior correlação positiva com a declividade média, o que implica que quanto maior a declividade, maior a quantidade de LW observada (Tabela 6). O mesmo foi observado em Gurnell (2013), mas não condiz com os demais resultados da tese. Fazendo um paralelo com sedimentos rochosos, sabe-se que é também nas maiores declividades o maior transporte de sedimentos, pois mais facilmente se atinge as condições críticas de início de transporte.

Tabela 6 – Matriz de correlação de Pearson\* para variáveis observadas, onde *d* = diâmetro, *L* = comprimento e *Vol* = volume.

	<i>d</i> médio	<i>L</i> médio	<i>Vol</i> total	Abundância	Declividade	Sinuosidade
<i>d</i> médio	1,00					
<i>L</i> médio	0,72	1,00				
<i>Vol</i> total	0,37	-0,01	1,00			
Abundância	-0,70	-0,77	0,35	1,00		
Declividade média	0,59	0,06	0,76	-0,02	1,00	
Sinuosidade	-0,21	0,32	-0,82	-0,45	-0,84	1,00

\*nível de 5% de significância.



A análise indicou também uma correlação negativa entre volume e sinuosidade do canal, onde quanto maior a sinuosidade do trecho, menor a quantidade de madeira levantada. A presença de meandros pode estar relacionada a maiores velocidades de fluxo, o que potencializa o transporte destes materiais.

De madeira geral, a precipitação acumulada não interferiu na quantidade de LW durante os 4 levantamentos realizados (Tabela 7), e observou-se uma tendência de diminuição do volume total de madeira no canal (m<sup>3</sup>) e aumento da participação da araucária no total, apesar do número de peças não acompanhar essa observação.

Tabela 7 – Resumo do levantamento de LW no arroio Perdizes (RS).

<b>Parâmetros</b>	<b>JUL 2019</b>	<b>NOV 2019</b>	<b>JUL 2020</b>	<b>DEZ 2020</b>
Período entre os levantamentos (dias)	-	132	248	147
Precipitação acumulada no período (mm)	-	348,7	1017,2	608,2
Número total de peças	155	197	142	158
Diâmetro médio (m)	0,19	0,17	0,19	0,18
Comprimento médio (m)	3,31	2,89	3,11	3,02
Volume total (m <sup>3</sup> )	17,90	17,31	15,33	14,57
% do volume por araucária	47,93	50,09	58,90	62,39

Entretanto, se considerarmos a vazão média diária (Figura 36) e desconsiderando os períodos com falhas na série, houve maiores médias entre julho e dezembro de 2020, quando também se observou maior número de peças de LW no canal, sendo assim, houve grande mobilização de LW durante as cheias. No entanto, mais observações são necessárias para sugerir as relações adequadas.

O declínio e a recuperação subsequente da presença de LW em canais após cheias sugere que esses trechos naturalmente retentivos podem ser resilientes a perturbações e podem ser priorizados para restauração de acumulações de LW, criando benefícios persistentes nos corredores fluviais (WOHL; SCAMARDO, 2021).

Conforme a estimativa da taxa de mortalidade definida pelo LEVEG, em uma parcela localizada a cerca de 800 metros da bacia de estudo, 0,46326 Mg/ha/ano de biomassa vegetal são fornecidos pela floresta para a bacia (utilizando uma densidade de madeira 0,46). Segundo levantado, 19,5% do total das árvores

levantadas tinham DAP  $\geq 30$  cm, consideradas assim grandes árvores, conforme Bordin et al. (2021).

A título de comparação, considerando os levantamentos de LW (a média dos volumes de LW medidos durante o período analisado - 17 meses), e também a mesma densidade de madeira utilizada por Bordin et al. (2021), um total de 7,488 Mg de biomassa vegetal na forma de LW ocorre nos trechos monitorados. E considerando ainda a área total de canal (0,513 ha), obtêm-se 14,590 Mg/ha de biomassa, sendo que 54%, em média, era oriundo de árvores da espécie araucária. Essa relação entre taxa de biomassa vegetal e a madeira existente no canal precisa ser melhor explorada para exclusão de eventuais erros de estimativa.

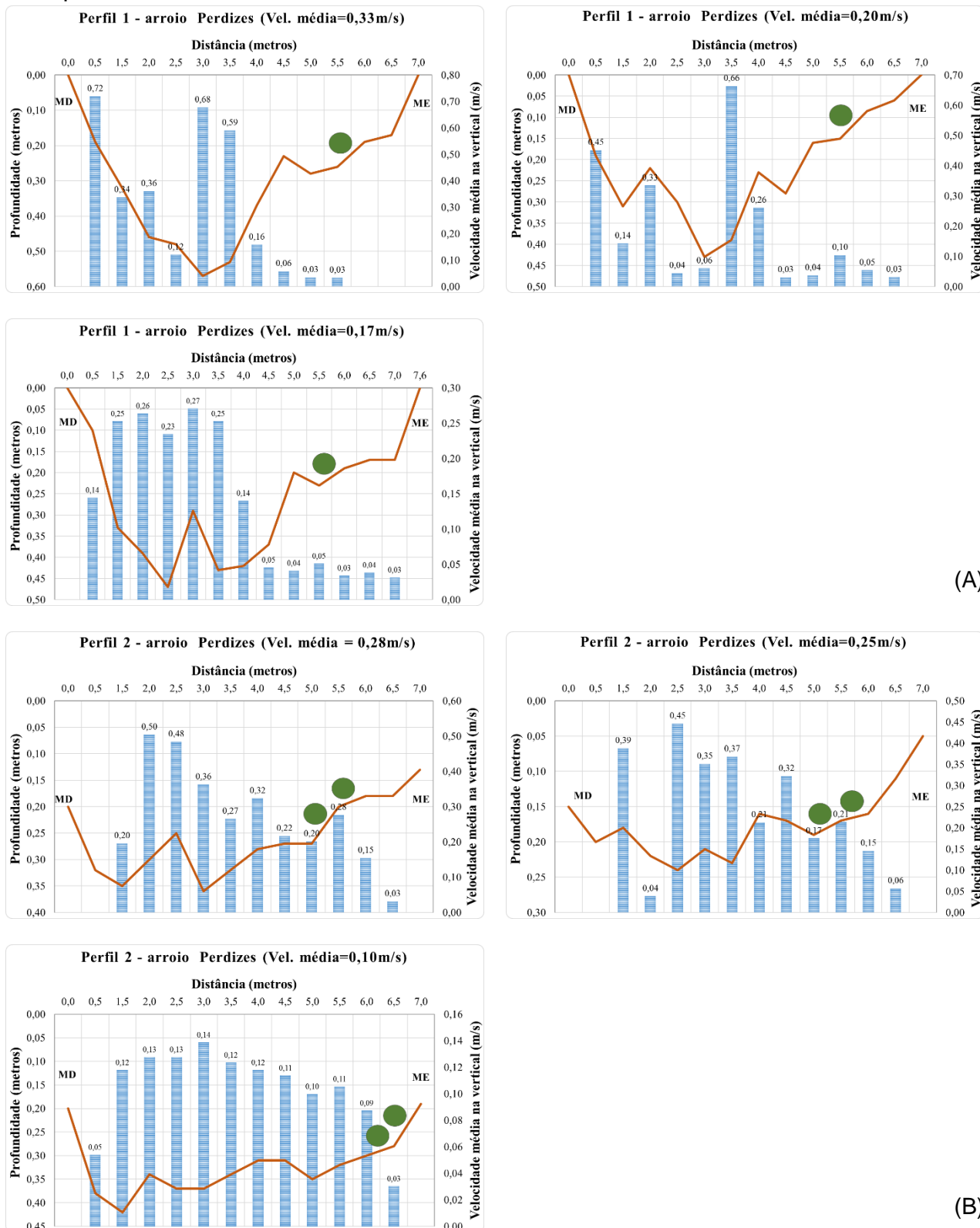
Ruiz-Villanueva et al. (2016a) confirmam que existe um interesse crescente em estimar a biomassa da madeira e o armazenamento de carbono em rios. Árvores de grande porte estão relacionadas a maiores estoques de biomassa na taxa de mortalidade de florestas tropicais, reforçando a importância destes indivíduos para o ciclo global do carbono (BORDIN et al., 2021). Neste contexto insere-se a araucária, pois esta também desempenha um papel fundamental na criação de habitat, não só garantindo maiores estoques de carbono, mas também promovendo a conservação da biodiversidade.

Considerando a importância da regionalização e espacialização dos estudos, destaca-se que cada bioma possui características especiais de pluviosidade anual ou tamanho dos LW, por exemplo, o que pode alterar o comportamento desses fragmentos e suas interferências na geomorfologia fluvial.

### **5.3.1 Velocidade do fluxo e detritos lenhosos**

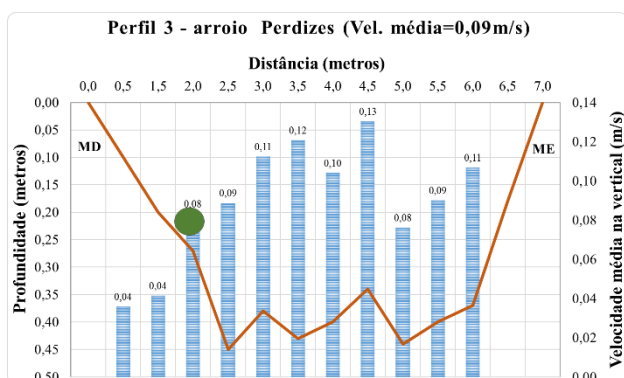
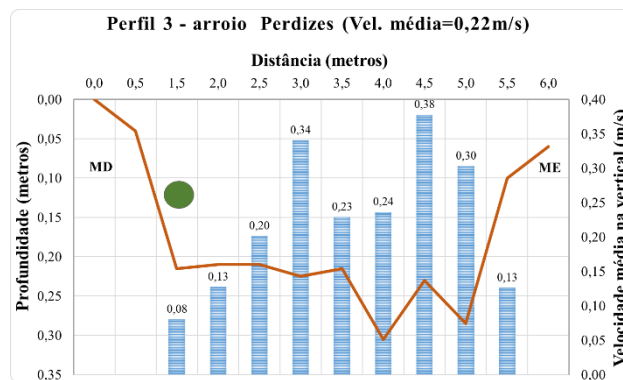
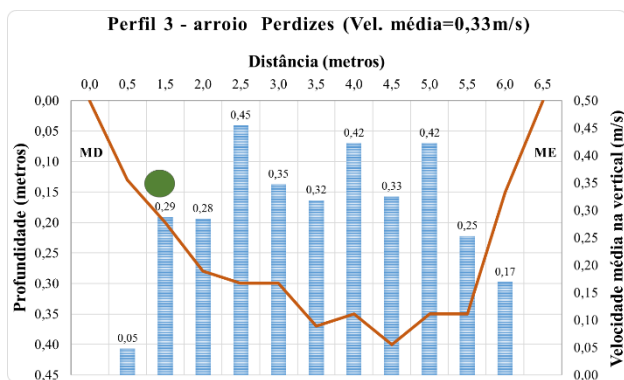
Através das medições das velocidades em diferentes níveis, foi possível visualizar a influência dos detritos lenhosos (círculos na cor verde) na velocidade do fluxo na seção (Figura 48). Em todas as seções, as barras azuis indicam que onde havia a interferência do LW, em microescala, a velocidade do fluxo declinava da madeira até a margem.

Figura 48 - Perfis transversais (linha laranja) indicando velocidade média (barras azuis) e os pontos com LW (círculo verde), sob diferentes níveis\*, onde (A) final de *step-pool*; (B) final de área de acumulação; (C) início de área de acumulação e (D) antes de área com acumulação de LW; e MD = Margem Direita e ME = Margem esquerda.

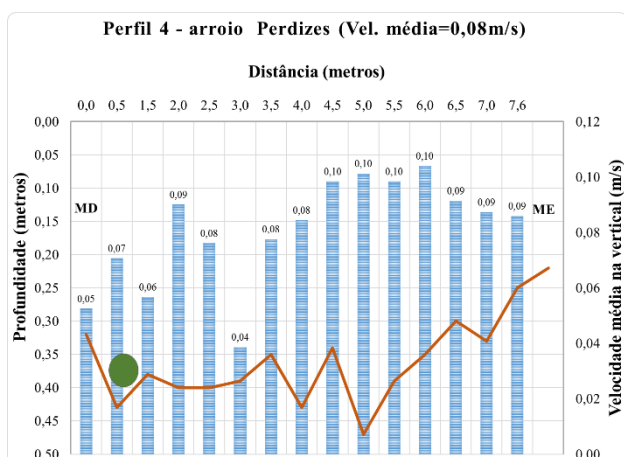
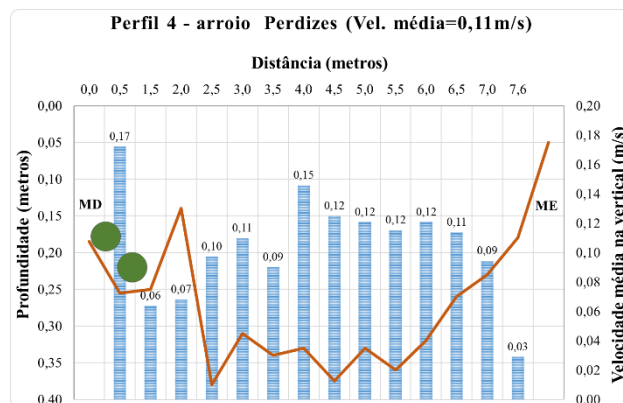
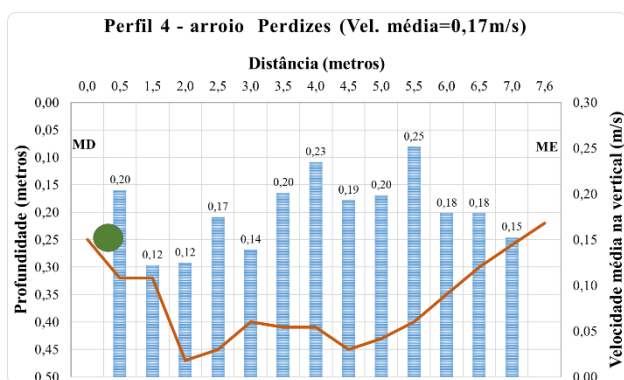


(A)

(B)



(C)



(D)

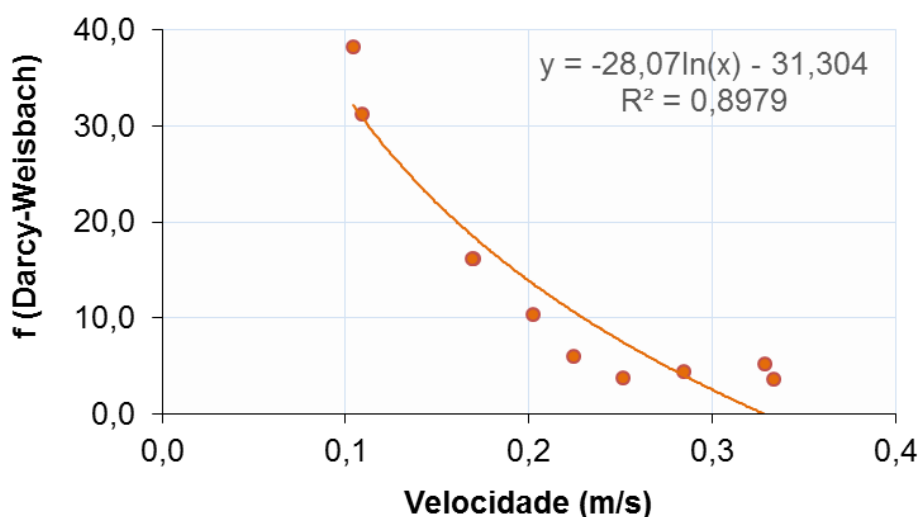
\*medições realizadas em 21/01/21 ( $Q_{\text{média}} = 0,54 \text{ m}^3/\text{s}$ ), 20/02/21 ( $Q_{\text{média}} = 0,24 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e 29/06/21 ( $Q_{\text{média}} = 0,23 \text{ m}^3/\text{s}$ ), respectivamente.

Ressalta-se que a presença dessas madeiras atuou como obstáculos hidráulicos no perfil da mesma forma que grandes seixos, como ocorreu nos perfis 2 e 4, por exemplo.

Alterações na velocidade do fluxo são requisitos para formação de habitat nos rios. Habitat aquáticos são formados por diferentes combinações de largura, profundidade e velocidade do fluxo, gerando segmentos com dimensões físicas e fluxo com condições energéticas diferentes (ARNDT; FERNANDEZ, 2017).

A resistência ao fluxo foi analisada nos perfis de medição de velocidade, para visualizar o efeito do LW sobre a rugosidade geral do rio (Figura 49). MacFarlane e Wohl (2003) relataram maior resistência ao fluxo em *step-pool* caracterizado pela presença de LW.

Figura 49 – Fator de atrito e relação com a velocidade média em perfis com LW.



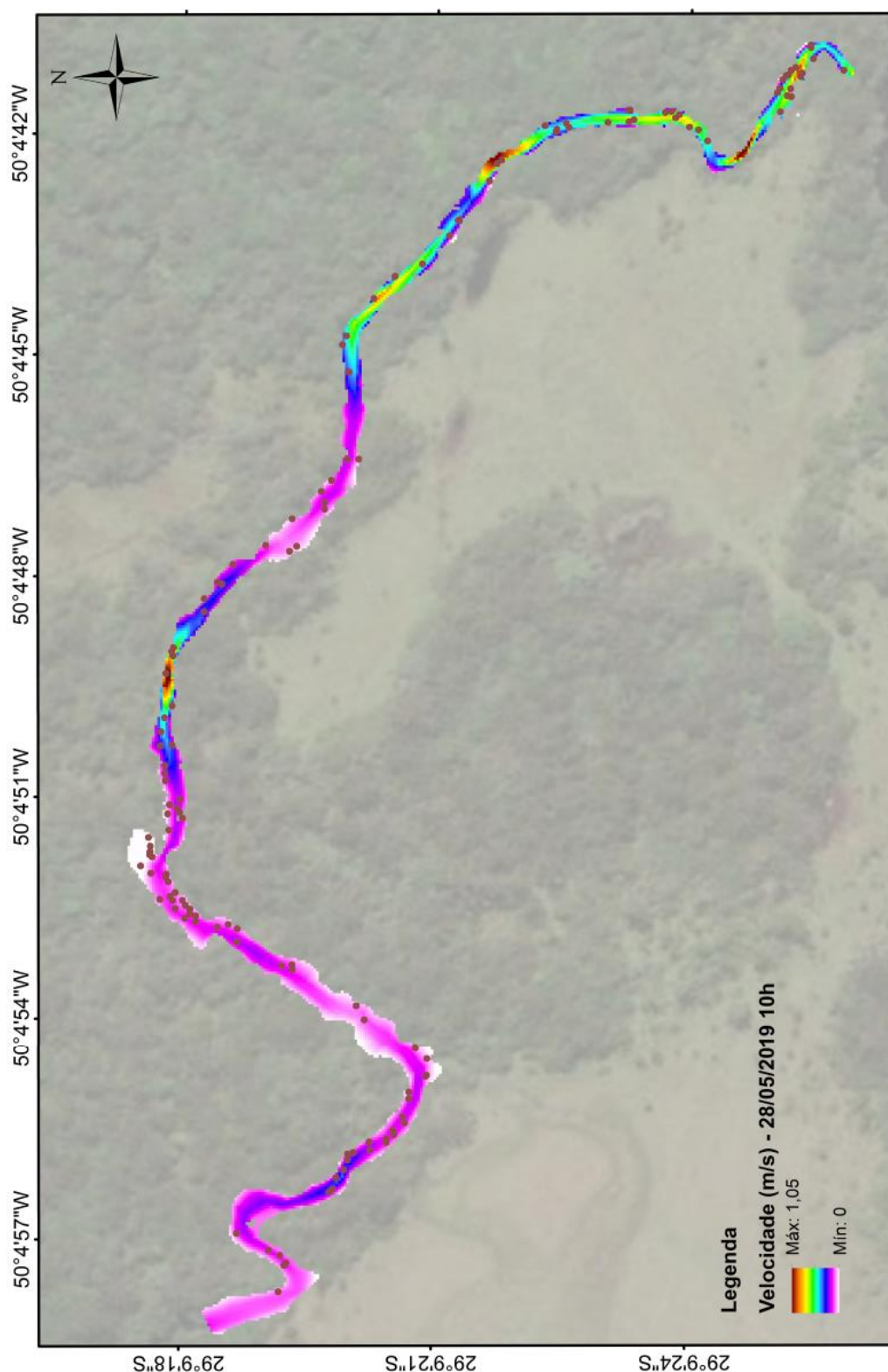
Em análise similar, Comiti et al. (2008) observaram que, apesar da grande dispersão, a resistência mostrava uma tendência decrescente em relação à vazão, bem como que seções sem LW apresentavam rugosidades mais baixas (até uma certa magnitude) do que seções com LW.

O levantamento topográfico, medições de velocidade e a série histórica de vazões permitiram a simulação das velocidades do fluxo no HEC-RAS. Na calibração dos resultados, e considerando o ponto de medição próximo à foz, a diferença entre a velocidade medida e simulada (0,1375 e 0,20 m/s, respectivamente), foi de 0,0625 m/s. A profundidade máxima medida foi 0,47 m, e

simulada 0,55 m. Na validação, a diferença foi de 0,0474 m/s, e de apenas 0,05 m na profundidade.

Para a cheia observada na Figura 35, a simulação das velocidades resultou na Figura 50. O levantamento de LW realizado posteriormente demonstrou que além de estarem concentrados próximos a meandros, os LW também se depositaram em regiões de menor velocidade média.

Figura 50 - Simulação\* das velocidades no canal (m/s) na cheia ocorrida no dia 28/05/19 e dispersão das peças de LW (pontos marrons) na medição do dia 10/07/2019.



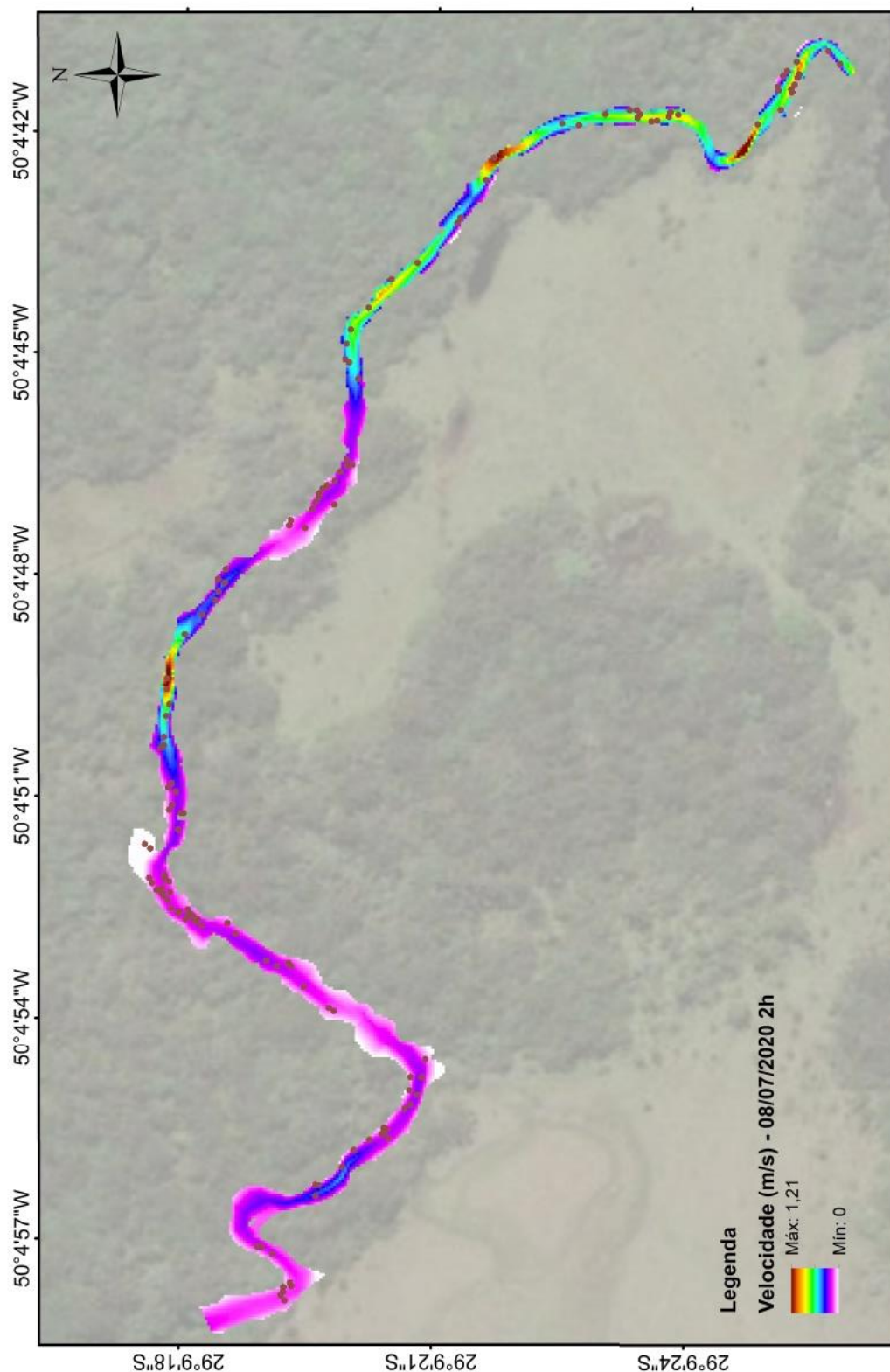
\*elaborada com o HEC-RAS considerando simulações em regime não-permanente, condição inicial: vazão de 0,5169 m<sup>3</sup>/s; condição de contorno de jusante: declividade do leito (0,005 m/m).



Em relação às enchentes, quando há grande recrutamento e transporte de LW, o gerenciamento de perigo que deve considerar a vegetação ripária e a madeira nos canais como componentes-chave dos ecossistemas fluviais e, portanto, sua interferência na dinâmica de transporte de LW, bem como dos sedimentos finos (COMITI et al., 2016). Ghaffarian et al. (2020) confirmaram que a maior taxa de transporte de madeira é observada na vazão de cheia.

A maior cheia registrada na bacia durante o período ocorreu no dia 8 de julho de 2020, onde a vazão estimada no arroio chegou a 0,7930 m<sup>3</sup>/s às 2h (a.m) (Figura 51). Ressalta-se a tendência de deposição dos LW antes de meandros e a grande ocorrência em regiões onde a zona ripária é amplamente florestada.

Figura 51 – Simulação\* das velocidades no canal (m/s) no maior nível de cheia estimado no arroio Perdizes, durante o período monitorado, ocorrido no dia 08/07/20, e dispersão das peças de LW (pontos marrons) na medição do dia 24/07/2020.



\*elaborada com o HEC-RAS considerando simulações em regime não-permanente, condição inicial: vazão de 0,7930 m<sup>3</sup>/s; condição de contorno de jusante: declividade do leito (0,005 m/m).

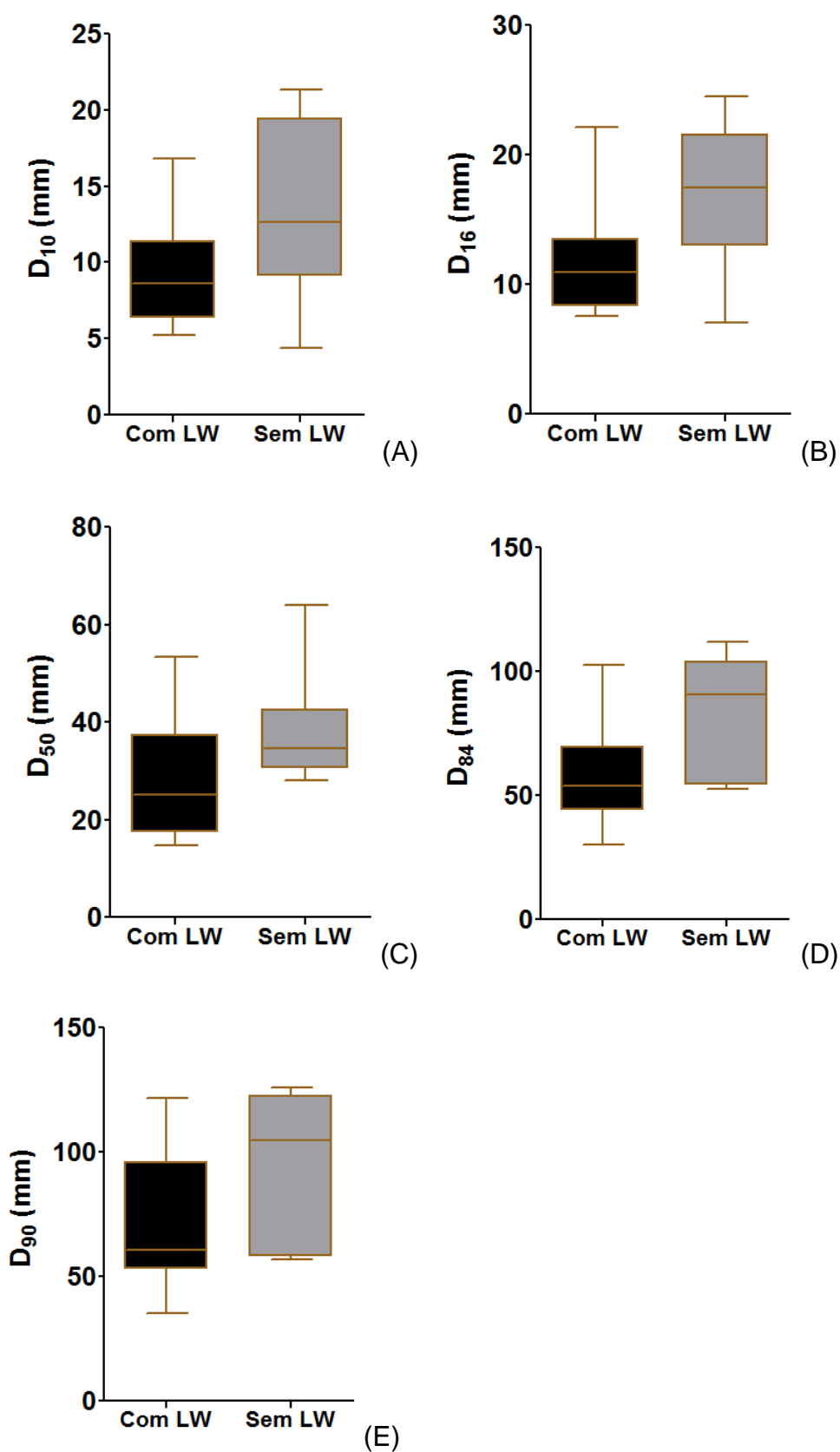
Também foram inferidos dois pontos de extravasamento na cheia do dia 08/07/2020, observados a campo na bacia do arroio Perdizes, onde estimou-se que a velocidade no arroio chegou a cerca de 1,50 m/s, valor um pouco superior ao estimado pela simulação (onde a velocidade máxima foi 1,21 m/s), e profundidade média de 2 metros.

O aumento da densidade da madeira do LW influencia sua mobilidade, como demonstraram Ruiz-Villanueva et al. (2016a), de forma que níveis de água e/ou velocidades de fluxo mais elevados seriam necessários para manter um fragmento mais úmido em movimento. Como a densidade é a relação de espaços vazios na madeira, o tempo que a madeira está submersa também pode ser um fator que interfere na absorção de água, bem como a idade da árvore, já que em um lenho adulto a madeira é mais densa. O mesmo efeito pode ser esperado para madeira recém recrutada e para espécies de árvores dominantes de alta densidade (por exemplo, araucária) no transporte e retenção em riachos, que precisariam de descargas mais altas do que árvores em decomposição e de densidade mais leve para ser transportado rio abaixo.

### **5.3.2 Dinâmica dos LW e sedimentos**

Foram levantadas 26 seções transversais (Tabela – Apêndice B), de modo que a separação dos resultados demonstrou que em todas as seções sem LW os diâmetros dos sedimentos do leito são maiores (Figura 52).

Figura 52 – Distribuição granulométrica das seções com e sem LW, sendo:  $D_{10}$  (A),  $D_{16}$  (B),  $D_{50}$  (C),  $D_{84}$  (D) e  $D_{90}$  (E).



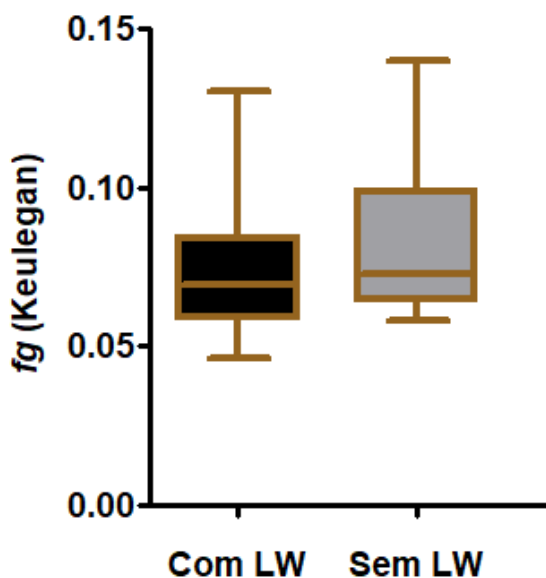
\*A parte inferior e superior da caixa indica o primeiro e o terceiro quartis, respectivamente, a linha dentro da caixa é a mediana, e as barras extremas correspondem aos mínimos e máximos.

Todos os diâmetros dos sedimentos de fundo foram significativamente menores onde havia detritos lenhosos, exceto para o  $D_{90}$ , que não diferiu significativamente entre as seções com e sem LW. Neste diâmetro, a mediana em seções sem LW ficou no quartil superior, enquanto nas seções com LW, a mediana ficou no quartil inferior. Desta forma observou-se que os LW retêm sedimentos de menor tamanho, que tendem a ser liberados lentamente para jusante.

O diâmetro médio ( $D_{50}$ ) foi maior nas seções onde não havia LW, o que confirma a tendência de reter sedimentos de menor tamanho junto aos LW (Figura 52C).

A verificação da resistência dos grãos apresentou resultados semelhantes entre as seções, desta forma não foi capaz de demonstrar a influência destes materiais lenhosos no fluxo. Ressalta-se que somente o  $D_{50}$  e o raio hidráulico são utilizados na análise (Figura 53).

Figura 53 - Resistência aos grãos  $f_g$  (Equação de Keulegan) dos sedimentos de fundo em seções transversais com e sem LW no arroio Perdizes.

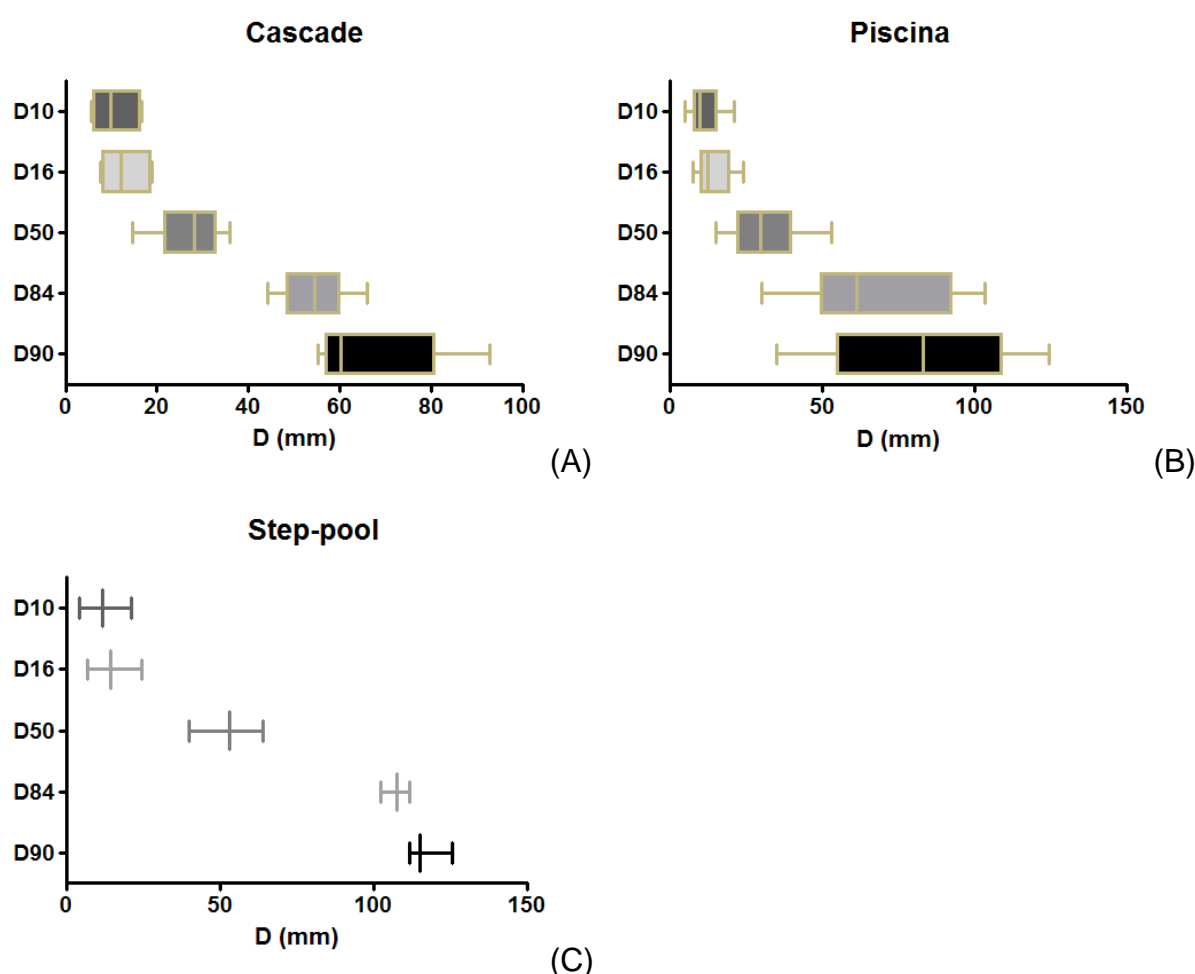


A aplicação de conceitos tradicionais de resistência ao fluxo, como o fator de atrito de Darcy-Weisbach ou qualquer outro coeficiente de rugosidade, está sujeita a ocorrência de sérios problemas e erros, principalmente quando estas análises são realizadas em rios montanhosos, pois as estimativas de resistência ao fluxo são

altamente sensíveis a erros de medição e de escolha de seções transversais representativas, especialmente devido à irregularidade dos taludes (COMITI et al., 2007).

Fazendo um recorte na geomorfologia das seções transversais, nas piscinas, onde a velocidade do fluxo é menor, a variação textural dos sedimentos de fundo foi maior (Figura 54).

Figura 54 – Distribuição granulométrica das seções dos sedimentos de fundo separadas por geomorfologia fluvial, sendo *cascade* (A); piscina (B) e *step-pool* (C).



\*A parte inferior e superior da caixa indica o primeiro e o terceiro quartis, respectivamente, a linha dentro da caixa é a mediana, e as barras extremas correspondem aos mínimos e máximos.

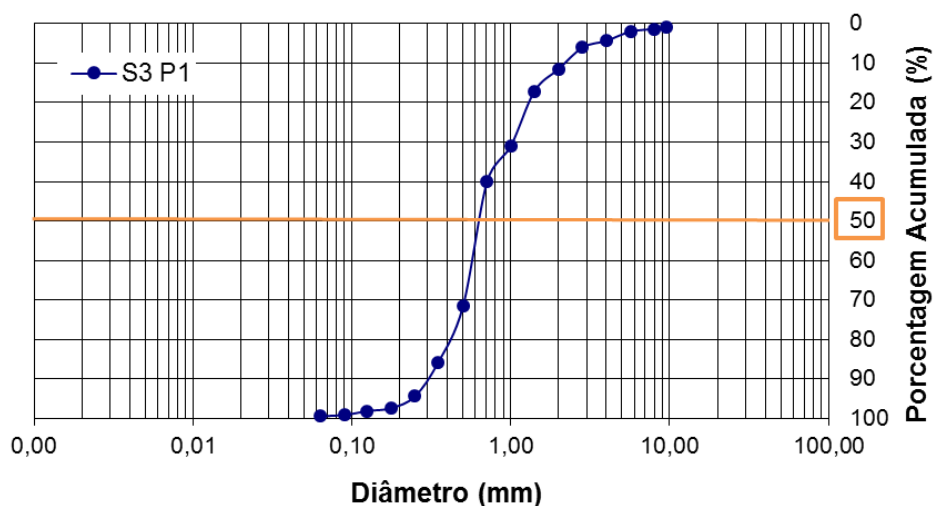
Ressalta-se que o tamanho dos sedimentos varia com a ocorrência das cheias, isso porque após grandes fluxos. O tamanho dos sedimentos nas piscinas, por exemplo, pode ficar maior do que em fluxos menores anteriores.

A curva granulométrica dos sedimentos de leito foi demonstrada em pontos de areia, segundo cada morfologia fluvial (Figura 55). A maior granulometria ocorre em

*cascade* e início das piscinas, sendo menor a granulometria no meio e fim das piscinas. Nas piscinas do trecho, houve grande concentração de LW.

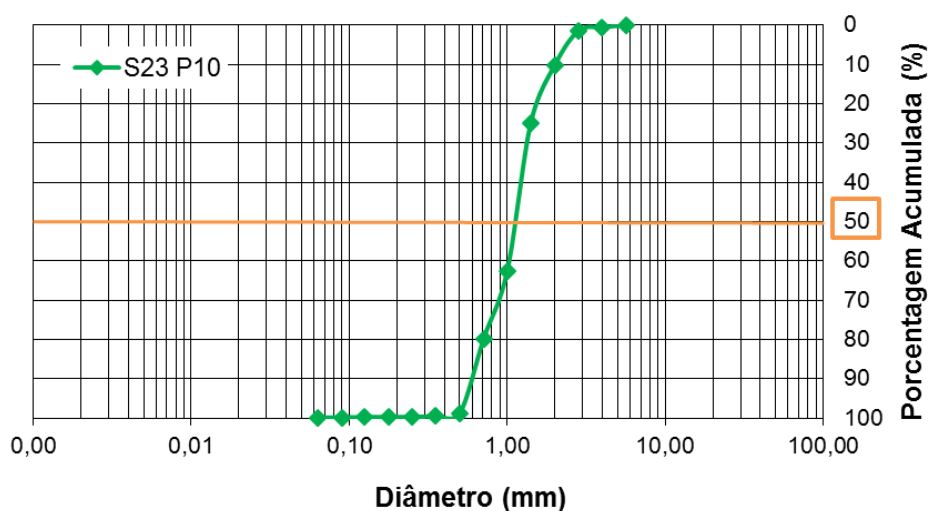
Figura 55 - Curvas granulométricas das seções com areia em seções em: *cascade* (A); início de piscina (B); meio da piscina (C) e fim da piscina (D); onde o  $d_{50}$  está demarcado em laranja; S = seção e P = ponto; somente a Seção 25 é sem LW.

**Curva Granulométrica - Cascade**



(A)

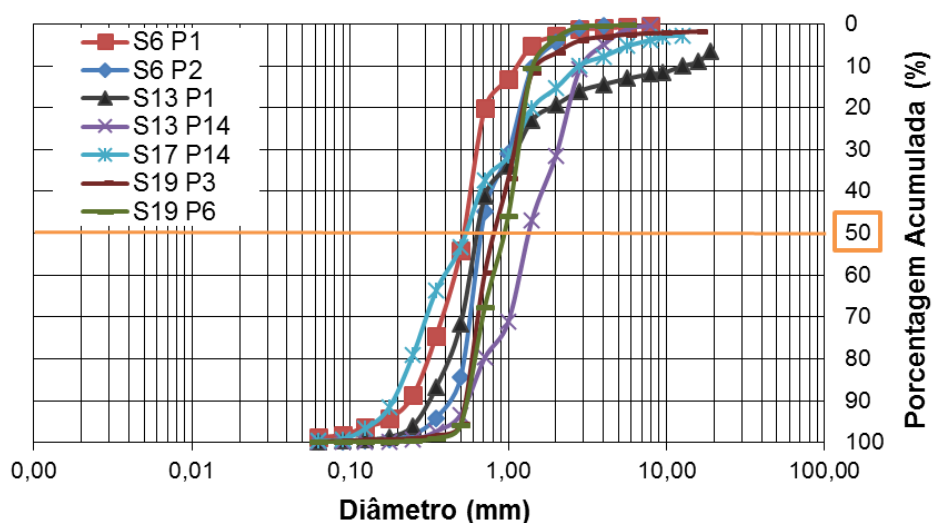
**Curva Granulométrica - Início da piscina**



(B)

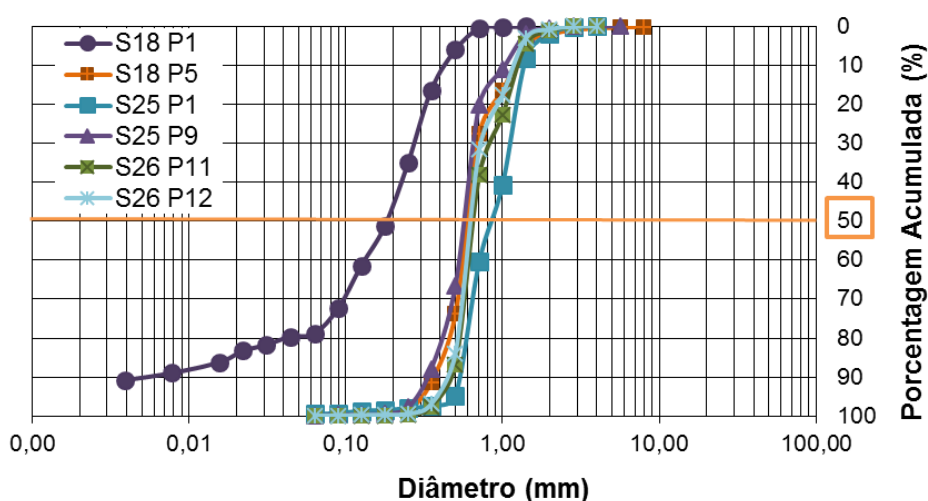


### Curva Granulométrica - Meio da piscina



(C)

### Curva Granulométrica - Fim da piscina

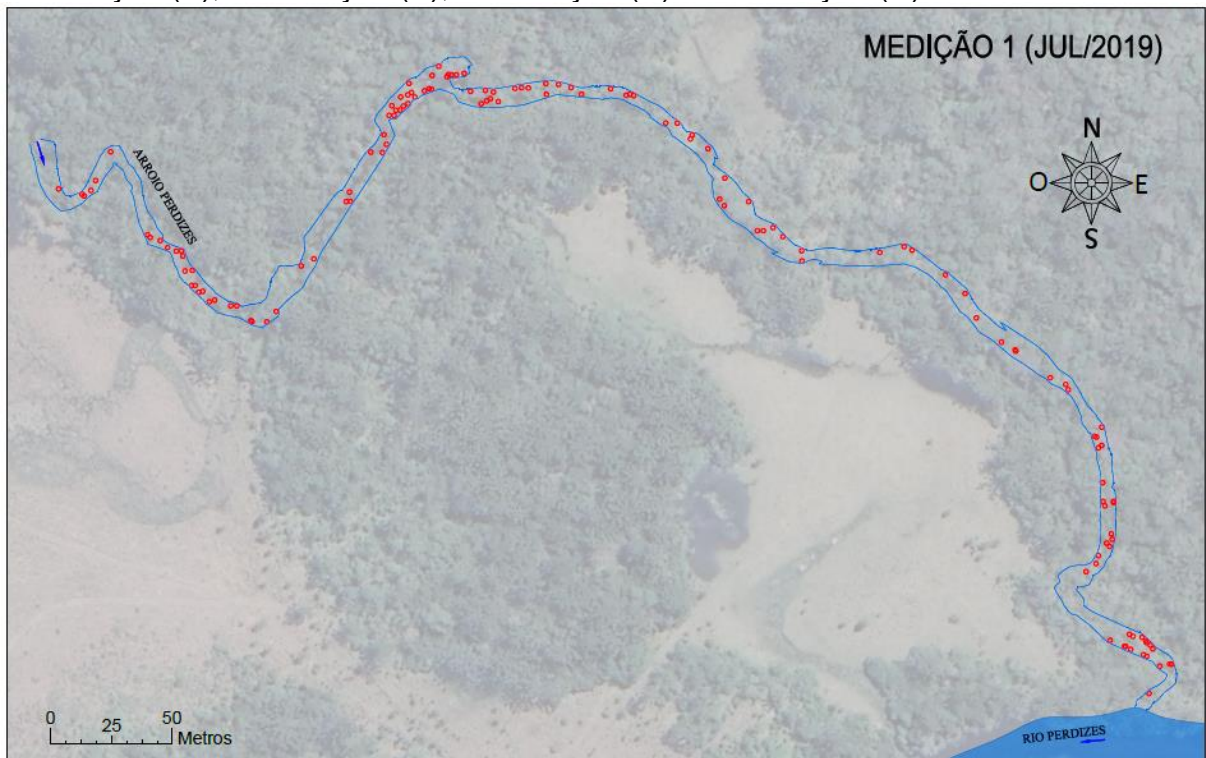


(D)

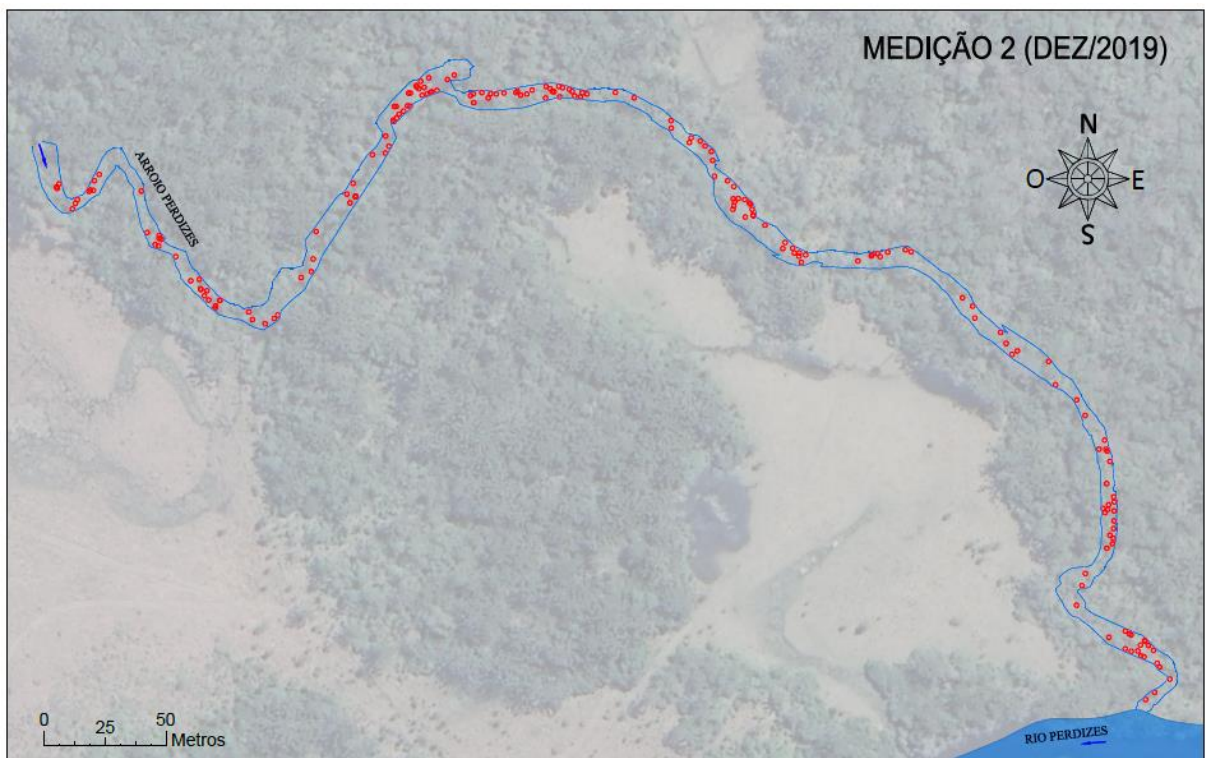
### 5.3.3 Dispersão dos LW ao longo do canal

No arroio Perdizes, mesmo em locais onde havia grande deposição de LW, não ocorriam grandes barramentos, e em alguns casos onde havia algum tipo de acumulação, estas desapareciam depois das cheias. A presença de LW antes de meandros no arroio Perdizes foi recorrente, enquanto em trechos retilíneos a concentração de LW foi menor e mais esparsa (Figura 56). Hughes e Thoms (2002) também observaram essa predominância, onde cerca de 60% dos LW estavam situados próximo às curvas do rio, em zonas de erosão.

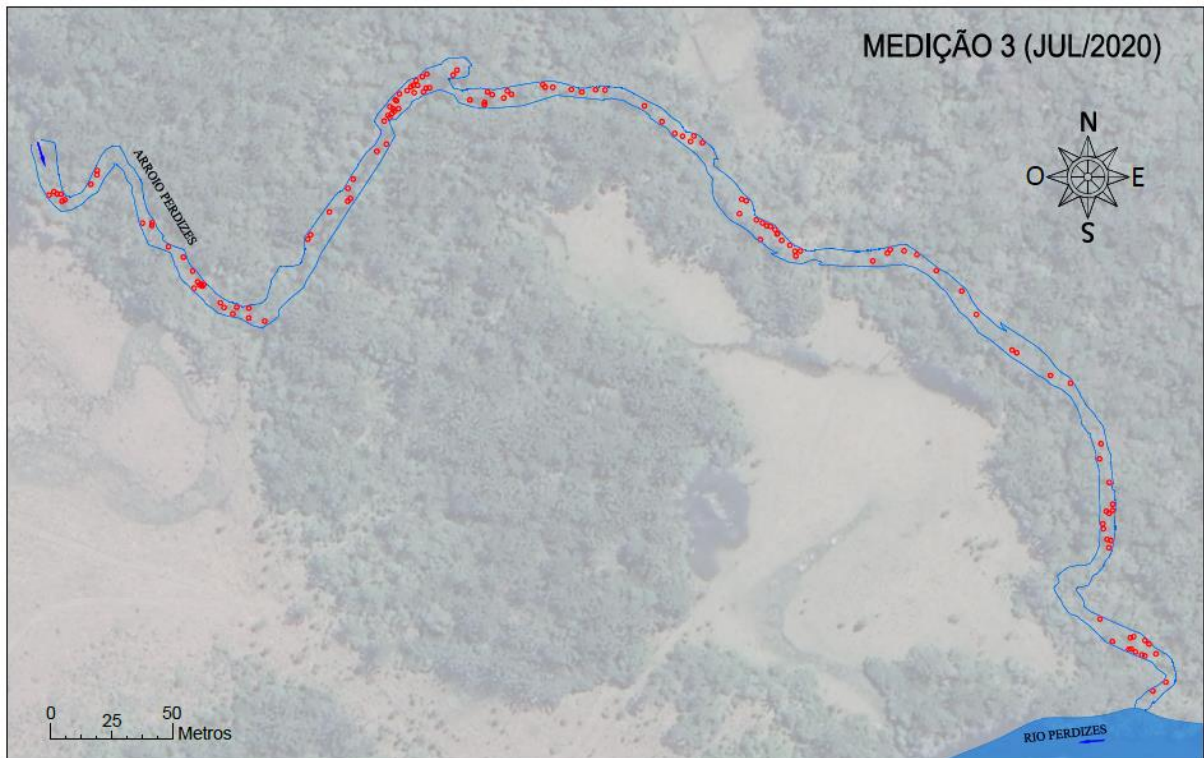
Figura 56 - Localização das peças individuais de LW (pontos vermelhos); referente à 1ª medição (A); 2ª medição (B); 3ª medição (C) e 4ª medição (D).



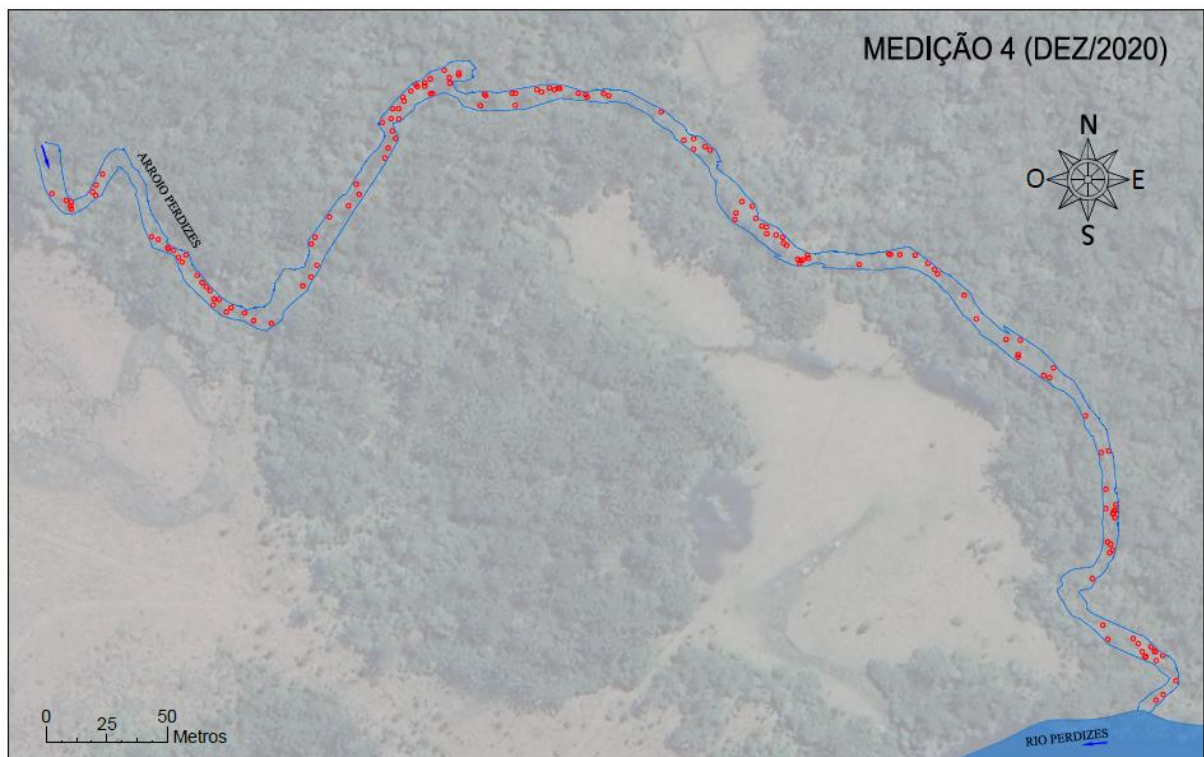
(A)



(B)



(C)



(D)

Normalmente os LW de zonas de erosão são recrutados por meio da erosão das margens. Na Austrália, a presença dos LW foi associada, principalmente, a



zonas de erosão, sugerindo que estes são relativamente imóveis, resultado que se assemelha a este estudo, mas contrasta com levantamentos realizados em rios europeus declivosos (PIEGAY; GURNELL, 1997), onde os LW estavam predominantemente localizados em zonas deposicionais e, portanto, com alta mobilidade no sistema (HUGHES; THOMS, 2002).

Gomez (1991) comenta que em canais de forte declividade, é comum a presença de sequências com *step-pool* e que estas promovem uma distribuição não uniforme de sedimentos de leito ao longo do canal, em função do maior armazenamento nas piscinas. Esse maior armazenamento também ocorreu no arroio Perdizes, considerando os LW como sedimentos.

#### 5.4 RECOMENDAÇÕES AO MANEJO DE DETRITOS LENHOSOS

A hidrologia florestal reconhece os LW como importantes fatores para alteração das condições físicas e bióticas da zona ripária. Há um consenso sobre a existência de um regime natural desta madeira, juntamente com a água e os sedimentos, como um tripé de processos físicos que apoia a ciência e o manejo dos rios, sendo essenciais para restauração de serviços ecossistêmicos perdidos ou comprometidos (WOHL et al., 2019).

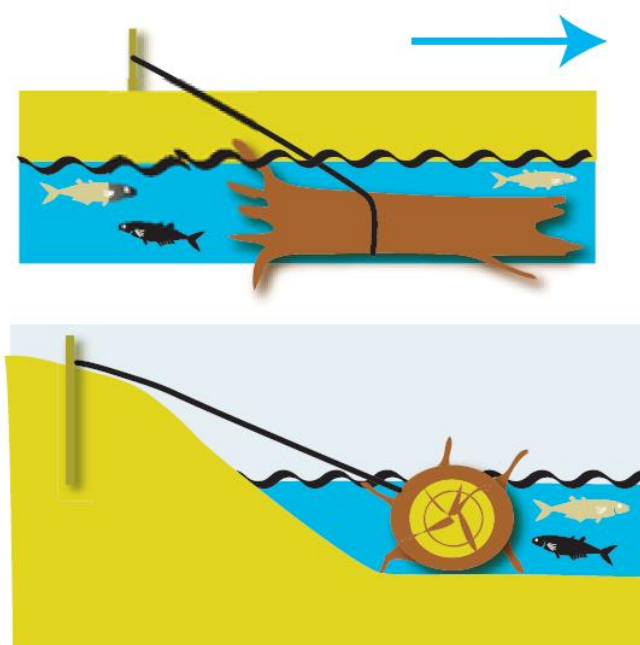
Nas diversas áreas do conhecimento que atuam na gestão de cursos d'água naturais, mais precisamente com a dinâmica de canais fluviais, é comum a utilização de termos como revitalização, restauração, reabilitação, recuperação e renaturalização. O termo renaturalização é mais popular e deve ser aplicado quando objetiva-se melhorar as condições de um rio através da utilização da madeira, sendo associado a uma nova abordagem direcionada a recuperar, em parte, as condições iniciais do recurso hídrico (ARAUJO et al., 2016).

Os objetivos da renaturalização de rios são recuperar um rio de modo a regenerar o mais próximo possível a biota natural, preservar as áreas naturais de inundação e impedir usos que inviabilizem tal função (BINDER, 1998). Os processos de renaturalização são considerados complexos, pois em suas ações são previstas a recomposição de margens e substratos do rio, por meio de iniciativas que utilizam materiais naturais como a madeira, em vez de concreto ou outros métodos utilizados

na engenharia tradicional (AFONSO, 2011). Ressalta-se que a educação ambiental também é um grande benefício das iniciativas de renaturalização.

A quantidade de recurso financeiro disponível para a recuperação de rios é relativamente pequena, comparado ao grande alcance da degradação, sendo que normalmente apenas uma abordagem básica, simples e de baixo custo é passível de uso (PASTERNAK, 2013). Um exemplo de abordagem simples foi ilustrado por *Riparian Corridor Management Technical Advisory Committee* (2005) (Figura 57).

Figura 57 - Projeto simples de introdução de LW em canal fluvial.



Fonte: *Riparian Corridor Management Technical Advisory Committee* (2005).

Em um passado recente, as acumulações de LW eram consideradas um problema para os rios e completamente removidas. Wohl, Scott e Yochum (2019), em manual sobre o tema, buscaram fornecer ferramentas para eliminação de práticas de gestão nos EUA nas quais as barragens de castores são imediatamente assumidas como perigos e removidas, sem reconhecer os efeitos benéficos destas barragens ao ecossistema.

A introdução de troncos em canais é uma ferramenta popular de manejo de rios, apesar de não ser comum no Brasil. Na maioria das vezes, os LW são inseridos para simular o caráter físico natural do canal, por exemplo, criando piscinas e zonas de menor velocidade do fluxo. Em rios de várzea semelhantes ao rio Murray, de baixa declividade e com alto potencial de evaporação, a introdução de LW precisa

ser feita próxima às curvas dos meandros, junto às margens, nas partes erodidas de curvas, e em ângulos entre 0° e 90° para o fluxo, simulando assim a o padrão geral de distribuição natural dos detritos (HUGHES; THOMS, 2002).

No arroio Perdizes, observou-se a persistência dos LW no canal, principalmente aqueles que se apresentavam paralelos ao fluxo (Figura 58).

Figura 58 – Persistência de LW no canal do arroio Perdizes.



A capacidade de um LW ser transportado durante cheias pode ser muito diferente entre a madeira estável dentro do canal, parcialmente deteriorada, e a madeira verde recém-recrutada. Portanto, a variabilidade nas propriedades da madeira deve ser levada em consideração em estudos de LW, pois esses fatores influenciam a dinâmica da madeira nos rios (RUIZ-VILLANUEVA et al., 2016a).

Naturalmente não se observou a criação de *step-pool* com LW no arroio Perdizes, mas apenas unidades formadas por seixos e soleiras. Isso pode ser relacionado à grande ocorrência de LW de araucária em orientação paralela ao fluxo. Em projetos de renaturalização, deve-se atentar para algumas questões como: movimentação dos troncos no sistema fluvial, taxa de decomposição da madeira introduzida, bem como requisitos de habitat ou para passagem de peixes e animais selvagens (CHIN et al., 2009). Analisando peixes, o *The Chalkstream Habitat Manual* (2008) afirma que LW são fundamentais para muitos processos fluviais que têm importância direta e indireta para a truta, principalmente nas cabeceiras, ao causar alterações pontuais na velocidade da água.



Conforme destacam Fernandes e Freitas (2011), o rio é um habitat extremamente perturbado e sujeito às maiores pressões de uso, situação que tem conduzido a intervenções que comprometem dramaticamente o seu caráter e que colocam desafios importantes à engenharia natural. Sendo assim, as intervenções necessárias necessitam uma equivalência de naturalidade, o que pode ser oferecido com a utilização da madeira existente no canal, sendo esta uma alternativa eficiente e viável para recuperação deste habitat.

Adeva-Bustos et al. (2019) mostraram que existe também um potencial para utilização de técnicas de sensoriamento remoto combinadas com modelagem hidráulica para avaliar medidas de renaturalização de rios. Os autores tinham como objetivo melhorar o habitat para salmonídeos, e as medidas incluíram a movimentação de pedras e rochas das margens para o canal, e um barramento de concreto foi retirado para reconectar um canal lateral com o rio principal. Os resultados mostraram que o modelo HEC-RAS foi eficiente na simulação das condições hidráulicas antes e depois da implementação das modificações. Ainda, houve uma melhoria geral no habitat com base nos valores de profundidade, velocidade e tensão de cisalhamento do fluxo.

Sendo assim, por meio dos resultados obtidos, buscou-se esclarecer a configuração da presença de LW no canal do arroio Perdizes, e assim apontar alternativas para outros rios brasileiros. Quando objetiva-se melhorar as condições ambientais fluviais, e a vegetação ripária é deficiente, indica-se a inserção de troncos paralelamente ao fluxo, pois no monitoramento do arroio Perdizes os LW ficam dispostos em maior número nesta orientação (Figura 43), e antes de meandros (Figura 56), sendo recomendável representar esse formato em projetos de renaturalização.

Os processos que ocorrem no canal do rio, principalmente a variabilidade do fluxo, causam sucessivos umedecimento e secagem dos LW, impactando significativamente nas propriedades da madeira, incluindo a densidade. Portanto, os valores de densidade da madeira retirados de bancos de dados globais devem ser usados com cautela quando se trata da caracterização da densidade da madeira úmida dentro do canal, especialmente quando se analisa a mobilidade da madeira, pois são calculados com base em amostras secas em estufa ou no contexto de inventários florestais (RUIZ-VILLANUEVA et al., 2016a).

Os parâmetros mínimos que devem ser incluídos nas avaliações para renaturalização de rios são: estabilidade dos taludes, condições da vegetação ripária, sinuosidade e diversidade das formas de leito, sedimentos de fundo, velocidade do fluxo e presença de detritos lenhosos. De forma que os objetivos a serem alcançados devem ser criar, preservar ou melhorar a estrutura de habitat de peixes, invertebrados aquáticos e vida selvagem; reduzir inundações localizadas e a erosão enquanto mantém os benefícios da redução do fluxo e de deposição de sedimentos; melhorar o valor estético do rio; economizar recursos ao reduzir a necessidade de uso de maquinário pesado e extenso trabalho de desassoreamento; envolver a comunidade e promover educação ambiental.

A criação de uma normativa de gerenciamento de detritos lenhosos para rios brasileiros, preferencialmente na forma de manual, determinaria a tomada de decisão dos gestores, se mover, remover ou adicionar LW em um rio, bem como a melhor maneira de fazê-lo. Sendo assim, cria-se um método para orientar a criação de habitat, preservar os benefícios que proporciona e minimiza os problemas que podem surgir, fazendo parte de um plano de gestão da zona ripária nacional. Para a elaboração de um manual, deve-se considerar o comportamento dos três materiais principais (água, sedimento e LW) e também a geomorfologia fluvial, abrangendo ainda as peculiaridades de cada bioma brasileiro.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os fluxos naturais de madeira na bacia hidrográfica são dinâmicos e difíceis de caracterizar. No entanto, sua compreensão pode ajudar na restauração de serviços ecossistêmicos perdidos ou diminuídos. Essa gestão da madeira no canal dos rios deve ser acompanhada por esforços para mudar o que normalmente são percepções negativas da madeira dos rios.

Neste estudo, através da construção de um banco de dados confiável, pôde-se ter uma melhor compreensão da dinâmica da ecologia fluvial com a presença de LW no arroio Perdizes, um rio em Floresta de Araucária e localizado em área protegida, reconhecendo também a complexidade desta análise. Sabe-se que o comportamento desses fragmentos de madeira depende de diversos fatores, principalmente da espécie, tamanho e localização no canal, bem como da morfologia do rio. Por ter sido realizado em área protegida, este estudo pode ainda ser usado como um levantamento controle, para fins de comparação com áreas antropizadas.

Desta forma, além de analisar estes fatores e intrínseco aos objetivos propostos, buscou-se também difundir o tema e ajudar no estabelecimento de sustentação técnica em processos que envolvam LW e rios, gerando um documento de auxílio na gestão de ambientes naturais brasileiros.

O monitoramento hidrológico demonstrou que a precipitação ficou abaixo da média histórica, apesar da ocorrência de alguns eventos extremos no período. Esse menor volume de chuvas reflete a influência do La Niña no clima da região. O monitoramento das seções transversais indicou uma tendência erosiva nos taludes fluviais onde havia LW. Também ocorreu uma tendência, em macro escala, do depósito de LW no trecho médio, de menor sinuosidade, em zonas de menor velocidade do fluxo. Em micro escala, os LW geravam então zonas lânticas, de menor velocidade.

A presença dos LW foi recorrente antes de meandros, com presença marcante de LW da espécie araucária. Também ocorreu uma diminuição do volume total de madeira no canal ao transcorrer das medições, com sucessivos aumentos da participação da araucária no total. O volume total de madeira teve maior correlação positiva com a declividade do canal, e correlação negativa com a sinuosidade.

As medições da velocidade do fluxo em diferentes níveis demonstraram a interferência do LW, pois ocorre um declínio da velocidade na sua presença, até a

margem. O levantamento sedimentológico indicou que em todos os perfis transversais com a presença de LW o diâmetro dos sedimentos de leito é menor, inclusive no diâmetro médio, confirmando o maior acúmulo de sedimentos de menor tamanho. Já a simulação no HEC-RAS confirmou que os LW tendem a não se depositar em zonas de maior velocidade no canal.

Os resultados permitiram uma maior compreensão da dinâmica da ecologia fluvial com a presença destes fragmentos de árvores. Desta maneira, recomenda-se:

- difundir os LW como item de provisão de serviços ecossistêmicos, pois estes auxiliam na manutenção das condições ambientais que dão sustentação para a vida e o bem-estar de várias espécies;
- inserir a espécie araucária nos projetos de recuperação da APP de margem de rios de cabeceira para a região abrangida pela Floresta de Araucária, de modo que a mata ciliar garanta o suprimento de madeira ao rio, considerando assim parâmetros como densidade e altura das árvores;
- para gestores, indica-se considerar a importância dos LW para o ecossistema ripário e incluir a renaturalização de rios quando o fornecimento de madeira pela vegetação for insuficiente;
- para novos estudos: etiquetar os fragmentos com material não plástico para acompanhamento do transporte ao longo do canal; determinar durante o levantamento se o LW está submerso ou não; acompanhar a taxa de apodrecimento dos LW estáveis no canal, para fins de comparação; realizar o levantamento dos LW logo após os eventos de cheia; buscar relação com percentuais de taxa de biomassa vegetal total.
- a elaboração de um manual brasileiro para manejo de detritos lenhosos, considerando as particularidades de cada bioma;
- ao ICMBio, a manutenção dos sistemas de monitoramento de nível e precipitação é crucial para a realização de futuros estudos no PNAS.

Como parte de um conjunto de ferramentas de gestão de rios, a modelagem auxilia no embasamento da tomada de decisão. Sendo assim, indica-se também a realização de experimentos de modelagem de transporte dos LW e validação com coletas de campo, considerando a diferença na densidade das madeiras.

As mudanças climáticas têm o potencial de modificar todos os sistemas que influenciam os LW nos rios - as florestas ripárias, o transporte de madeira, taxas de decomposição e outras influências humanas. Isso deve ser melhor analisado e considerado nos estudos de LW, pois o clima influencia em processos como incêndios florestais, deslizamentos de terra, velocidade do vento, ataques de insetos e doenças, que, por sua vez, regulam a magnitude da entrega de LW aos rios. Desta forma, é necessário cada vez mais monitorar e quantificar o fluxo de madeira nos rios, para melhorar a gestão dos benefícios e perigos envolvidos.

## REFERÊNCIAS

- ABBE, T.B.; MONTGOMERY, D.R. Patterns and processes of wood debris accumulation in the Queets river basin, Washington. **Geomorphology**, v. 51, p. 81-107, 2003. DOI: 10.1016/S0169-555X(02)00326-4
- ADDY, S.; WILKINSON, M.E. Representing natural and artificial in-channel large wood in numerical hydraulic and hydrological models. **WIREs Water**, v. 6, e1389, 2019. DOI: 10.1002/wat2.1389
- ADEVA-BUSTOS, A.; ALFREDSEN, K.; FJELDSTAD, H.; OTTOSSON, K. Ecohydraulic Modelling to Support Fish Habitat Restoration Measures. **Sustainability**, v. 11, p. 1-20, 2019. DOI: 10.3390/su11051500
- AFONSO, J.A.C. **Renaturalização e revitalização de rios urbanos: uma abordagem sistêmica**. 2011. 135 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Urbana) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, PR, 2011.
- AGGETT, G.R.; WILSON, J.P. Creating and coupling a high-resolution DTM with a 1-D hydraulic model in a GIS for scenario-based assessment of avulsion hazard in a gravel-bed river. **Geomorphology**, v.113, p.21–34, 2009.
- ANDREOLI, A.; COMITI, F.; LENZI, M.A. Characteristics, distribution and geomorphic role of large woody debris in a mountain stream of the Chilean Andes. **Earth Surf. Process. Landforms**, v. 32, p. 1675-1692, 2007. DOI: 10.1002/esp.1593
- ARAUJO, E.C.; RIBEIRO, N.F.; HOLZER, R. Rios urbanos: contribuição para o debate sobre desnaturalização e renaturalização. In: 7° CONGRESSO LUSO BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, 2016, Maceió, AL. **Anais...** 2016, p. 1-11.
- ARCE-MOJICA, T.J.; NEHREN, U.; SUDMEIER-RIEUX, K.; MIRANDA, P.J.; ANHUF, D. Nature-based solutions (NbS) for reducing the risk of shallow landslides: Where do we stand? **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 41, 101293, 2019. DOI: 10.1016/j.ijdrr.2019.101293
- ARNDT, M.A.; FERNANDEZ, O.V.Q. Caracterização morfológica e hidráulica de mesohabitats em córregos de Marechal Cândido Rondon, oeste do Paraná. **Revista Equador**, v. 6, n. 1, p. 108-133, 2017.
- ATHA, J.B. Identification of fluvial wood using Google Earth. **River Research and Applications**, v. 30, p. 857-864, 2014. DOI: 10.1002/rra.2683
- BAILLIE, B.R.; DAVIES, T.R. Influence of large woody debris on channel morphology in native forest and pine plantation streams in the Nelson region, New Zealand. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, v. 36, n.4, p. 763-774, 2002. DOI: 10.1080/00288330.2002.9517129



BAILLIE, B.R.; GARRETT, L.G.; EVANSON, A.W. Spatial distribution and influence of large woody debris in an old-growth forest river system, New Zealand. **Forest Ecology and Management**, v. 256, p. 20-27, 2008. DOI: 10.1016/j.foreco.2008.01.051

BAILLIE, B.R.; HICKS, B.J.; HEUVEL, M.R.VAN DEN.; KIMBERLEY, M.O.; HOGG, I.D. The effects of wood on stream habitat and native fish assemblages in New Zealand. **Ecology of Freshwater Fish**, v. 22, p. 553-566, 2013. DOI: 10.1111/eff.12055

BAUERMANN, S.G.; BEHLING, H.; MACEDO, R.B. Biomass regionais e evolução da paisagem no Rio Grande do Sul com base em paleopalínologia. In: RIBEIRO, A.M.; BAUERMANN, S.G.; SCHERER, C.S. **Quaternário do Rio Grande do Sul integrando conhecimentos**. Porto Alegre: SBP, 2009, p. 81-93.

BENDA, L.; SIAS, J. A quantitative framework for evaluating the mass balance of in-stream organic debris. **Forest Ecology and Management**, v. 172, p. 1-16, 2003. DOI: 10.1016/S0378-1127(01)00576-X

BENDA, L.; BIGELOW, P. On the patterns and processes of wood in northern California streams. **Geomorphology**, v. 209, p. 79-97, 2014. DOI: 10.1016/j.geomorph.2013.11.028

BENDA, L.; MILLER, D.; SIAS, J.; MARTIN, D.; BILBY, R.; VELDHUISEN, C.; DUNNE, T. Wood Recruitment Processes and Wood Budgeting. **American Fisheries Society Symposium**, v. 37, p. 49-73, 2003.

BERGAMIN, R.S. **Especificidade de espécies arbóreas no Sudeste da Mata Atlântica e padrões de diversidade em florestas com araucária**. Dissertação (Mestrado em Ciências – ênfase em Ecologia). Instituto de Biociência, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2010. 76p.

BERTOLDI, W.; GURNELL, A.M.; WELBER, M. Wood recruitment and retention: The fate of eroded trees on a braided river explored using a combination of field and remotely-sensed data sources. **Geomorphology**, v. 180-181, p. 146–155, 2013. DOI: 10.1016/j.geomorph.2012.10.003

BERTOLDI, W.; WELBER, M.; GURNELL, A.M.; MAO, L.; COMITI, F.; TAL, M. Physical modelling of the combined effect of vegetation and wood on river morphology. **Geomorphology**, v. 246, p. 178-187, 2015. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.05.038

BINDA, A.L.; FERNANDEZ, O.V.Q. Detritos lenhosos e sequência de soleiras e depressões no Rio Guabiroba, Guarapuava-PR. **Geografia**, v. 35, n. 2, p. 411-422, 2010.

BINDA, A.L.; FERNANDEZ, O.V.Q. Morfologia de leito e processos erosivo-deposicionais em áreas afetadas por acumulações de detritos lenhosos: Rio Guabiroba, Guarapuava/PR. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n. 2, p. 105-115, 2011a. DOI: 10.20502/rbg.v12i2.239

BINDA, A.L.; FERNANDEZ, O.V.Q. Acumulações de detritos lenhosos e mudanças na morfologia do canal fluvial no rio Guabirola, Guarapuava (PR). **Geografia**, v. 20, n. 1, p. 31-50, 2011b.

BINDA, A.L.; LIMA, A.G. Morfologia e processos fluviais: o papel dos detritos lenhosos. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 28, n. 2, p. 59-74, 2008.

BINDER, W. **Rios e Córregos, Preservar - Conservar - Renaturalizar**. A recuperação de rios, possibilidades e limites da Engenharia Ambiental. SEMADS, Rio de Janeiro, RJ, 1998. 42p.

BOCCHIOLA, D. Hydraulic characteristics and habitat suitability in presence of woody debris: A flume experiment. **Advances in Water Resources**, v. 34, p. 1304-1319, 2011. DOI: 10.1016/j.advwatres.2011.06.011, 2011

BORDIN, K.M.; ESQUIVEL-MUELBERT, A.; BERGAMIN, R.S.; KLIPEL, J.; PICOLOTTO, R.C.; FRANGIPANI, M.A.; ZANINI, K.J.; CIANCIARUSO, M.V.; JARENKOW, J.A.; JURINITZ, C.F.; MOLZ, M.; HIGUCHI, P.; SILVA, A.C.; MÜLLER, S.C. Climate and large-sized trees, but not diversity, drive above-ground biomass in subtropical forests. **Forest Ecology and Management**, v. 490, 2021. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119126

BOYER, K.L.; BERG, D.R.; GREGORY, S.V. Riparian Management for Wood in Rivers. In: Gregory, S.V., Boyer, K.L., Gurnell, A.M. (Eds.), *The Ecology and Management of Wood in World Rivers*. **American Fisheries Society Symposium**, v. 37, p. 407-420, 2003.

BRASIL. Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Lei de Proteção da Vegetação Nativa, Brasil, 2012. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)>. Acesso em: 11 jun. 2021.

BRASIL. Lei Federal nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021. Brasil, 2021. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2019-2022/2021/lei/l14119.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2021/lei/l14119.htm)>. Acesso em: 13 ago. 2021.

BROOKS, A.P.; BRIERLEYA, G.J.; MILLAR, R.G. The long-term control of vegetation and woody debris on channel and flood-plain evolution: insights from a paired catchment study in southeastern Australia. **Geomorphology**, v. 51, p. 7-29, 2003. DOI: 10.1016/s0169-555x(02)00323-9

BROOKS, A. et al. **Design guideline for the reintroduction of wood into Australian streams**. Land & Water Australia, Canberra, 2006.

BUFFINGTON, J.M. Changes in channel morphology over human time scales. In: Church, M., Biron, P.M., Roy, A.G. (Eds.), **Gravel-bed Rivers: Processes, Tools, Environments**, p. 435-463, 2012.

- BUFFINGTON, J.M.; MONTGOMERY, D.R. Geomorphic Classification of Rivers. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Wohl, E. (Ed.), **Treatise on fluvial geomorphology**. Academic Press, San Diego, CA. Fluvial Geomorphology, v. 9, 2013. p. 730-767. DOI: 10.1016/B978-0-12-374739-6.00263-3
- BUNTE, K.; ABT, S.R. **Sampling Surface and Subsurface Particle-Size Distributions in Wadable Gravel- and Cobble-Bed Streams for Analyses in Sediment Transport, Hydraulics, and Streambed Monitoring**. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report 74, 2001.
- CAMPAGNOLO, K.; KOBIYAMA, M.; MAZZALI, L.H.; PAIXÃO, M.A. A influência da vegetação na estabilidade de encostas com ênfase em margem do rio. In: Encontro Nacional de Desastres (1: 2018: Porto Alegre) Porto Alegre: ABRHidro, **Anais**, 2018. 8p.
- CAMPAGNOLO, K.; KOBIYAMA, M.; FAN, F.M. Panorama geral sobre estudos da influência dos detritos lenhosos na dinâmica de rios do mundo e do Brasil. **Ciência e Natura**, v.42, e62, 2020. DOI: 10.5902/2179460X39228
- CAMPAGNOLO, K.; KOBIYAMA, M. Woody debris characterization in a small basin with araucaria forest. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 22, n. 2, p. 463-474, 2021. DOI: 10.20502/rbg.v22i2.1984
- CARLUCCI, M.B.; JARENKOW, J.A.; DUARTE, L.S.; PILLAR, V.deP. Conservação da Floresta com Araucária no Extremo Sul do Brasil. **Natureza & Conservação**, v.9, n. 1, p. 111-114, 2011. DOI: 10.4322/natcon.2011.015
- CHAVE, J.; COOMES, D.; JANSEN, S.; LEWIS, S.L.; SWENSON, N.G.; ZANNE, A.E. Towards a worldwide wood economics spectrum. **Ecology Letters**, v. 12, p. 351-366, 2009. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x
- CHEN, S.; CHAO, Y.; CHAN, H. Typhoon-dominated Influence on Woody Debris Distribution and Transportation in a High Gradient Headwater Catchment. **Journal of Mountain Science**, v. 10, n. 4, p. 509-521, 2013. DOI: 10.1007/s11629-013-2741-2
- CHIN, A.; WOHL, E. Toward a theory for step pools in stream channels. **Progress in Physical Geography**, v. 29, n. 3, p. 275-296, 2005. DOI: 10.1191/0309133305pp449ra
- CHIN, A.; ANDERSON, S.; COLLISON, A.; ELLIS-SUGAI, B.J.; HALTINER, J.P.; HOGERVORST, J.B.; KONDOLF, G.M.; O'HIROK, L.S.; PURCELL, A.H.; RILEY, A.L.; WOHL, E. Linking Theory and Practice for Restoration of *Step-pool* Streams. **Environmental Management**, v. 43, p. 645-661, 2009. DOI: 10.1007/s00267-008-9171-x
- CITADINI-ZANETTE, V.; PEREIRA, J.L.; JARENKOW, J.A.; KLEIN, A.S.; SANTOS, R. Estrutura da sinúsia herbácea em Floresta Ombrófila Mista no Parque Nacional de Aparados da Serra, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 9, n. 1, p. 56-63, 2011.

COELHO, N.R.; GOMES, A.S.; CASSANO, C.R.; PRADO, R.B. Panorama das iniciativas de pagamento por serviços ambientais hídricos no Brasil. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 26, n. 3, p. 409-415, 2021. DOI: 10.1590/S1413-415220190055

COMITI, F.; ANDREOLI, A.; LENZI, M.A. Morphological effects of local scouring in step-pool streams. **Earth Surf. Process. Landforms**, v. 30, p. 1567-1581, 2005. DOI: 10.1002/esp.1217

COMITI, F.; ANDREOLI, A.; LENZI, M.A.; MAO, L. Spatial density and characteristics of woody debris in five mountain rivers of the Dolomites (Italian Alps). **Geomorphology**, v. 78, p. 44-63, 2006. DOI: 10.1016/j.geomorph.2006.01.021

COMITI, F.; MAO, L.; WILCOX, A.; WOHL, E.E.; LENZI, M.A. Field-derived relationships for flow velocity and resistance in high-gradient streams. **Journal of Hydrology**, v. 340, p. 48-62, 2007. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2007.03.021

COMITI, F.; ANDREOLI, A.; MAO, L.; LENZI, M.A. Wood storage in three mountain streams of the Southern Andes and its hydro-morphological effects. **Earth Surf. Process. Landforms**, v. 33, p. 244-262, 2008. DOI: 10.1002/esp.1541

COMITI, F.; da CANAL, M.; SURIAN, N.; MAO, L.; PICCO, L.; LENZI, M.A. Channel adjustments and vegetation cover dynamics in a large gravel bed river over the last 200 years. **Geomorphology**, v. 125, p. 147-159, 2011. DOI: 10.1016/j.geomorph.2010.09.011

COMITI, F.; LUCÍA, A.; RICKENMANN, D. Large wood recruitment and transport during large floods: A review. **Geomorphology**, v. 269, p. 23-39, 2016. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.06.016

COSTIGAN, K.H.; DANIELS, M.D. Spatial pattern, density and characteristics of large wood in connecticut streams: implications for stream restoration priorities in Southern New England. **River Research and Applications**, v. 29, p. 161-171, 2013. DOI: 10.1002/rra.1589

CPRM. Excursão Virtual aos Aparados da Serra - RS/SC: aspectos geológicos e turísticos - Cânions do Itaimbezinho e Fortaleza. WILDNER, W.; ORLANDI FILHO, V.; GIFFONI, L.E. Porto Alegre: CPRM - **Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais**, 2004. 88

CURRAN, J.H.; WOHL, E.E. Large woody debris and flow resistance in *step-pool* channels, Cascade Range, Washington. **Geomorphology**, v. 51, p. 141-157, 2003. DOI: 10.1016/S0169-555X(02)00333-1

DIAS, W.A.; THOMAZ, E.L. Influência de escombros lenhosos na dinâmica de riachos em área de faxinal. **Terr@ Plural**, v. 5, n. 2, p. 229-248, 2011.

EATON, B.C.; HASSAN, M.A.; DAVIDSON, S.L. Modeling wood dynamics, jam formation, and sediment storage in a gravel-bed stream. **Journal of Geophysical Research**, v. 117, F00A05, p. 1-18, 2012. DOI: 10.1029/2012JF002385

ECRR - European Center for River Restoration. Plataforma *Riverwiki*. Disponível em: <[https://Restorerivers.Eu/Wiki/Index.Php?Title=Main\\_Page](https://Restorerivers.Eu/Wiki/Index.Php?Title=Main_Page)>. Acesso em: 24 ago. 2021.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, 2018.

FANTIN-CRUZ, I.; TONDATO, K.K.; MARQUES, D.M.; PEDROLLO, O. Regime térmico em águas correntes e sua importância na estrutura do habitat e na biologia de organismos aquáticos. **Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 36, p. 295-307, 2010.

FARIA, A.P. Transporte de sedimentos em canais fluviais de primeira ordem: Respostas geomorfológicas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 2, p. 191-202, 2014.

FERNANDES, J.P.; FREITAS, A.R.M. **Introdução à Engenharia Natural**. EPAL, 2011. 108p.

FERNANDEZ, O.V.Q. O papel de grandes detritos lenhosos na morfologia e sedimentologia no córrego Guavirá, Marechal Cândido Rondon (PR). **Geografia**, v. 29, n. 2, p. 229-240, 2004.

FERNANDEZ, O.V.Q.; RAMOS, S.M.; WELTER, V.; BAGATINI, Y.M.; BENKE, C.D.; MÜNCHEN, F. Simulações de morfologia fluvial e recuperação de habitats aquáticos em córregos da região oeste do Paraná. **Geografia**, v. 27, n. 3, p. 81-95, 2010.

FERNANDEZ, O.V.Q.; BINDA, A.L. Classificação de detritos lenhosos acumulados em trechos do rio Guabiroba, Guarapuava (PR). **Raega**, v. 24, p. 258-271, 2012.

GALIA, T.; RUIZ-VILLANUEVA, V.; TICHAVSKÝ, R.; SILHÁN, K.; HORÁČEK, M.; STOFFEL, M. Characteristics and abundance of large and small in stream wood in a Carpathian mixed-forest headwater basin. **Forest Ecology and Management**, v. 424, p. 468-482, 2018. DOI: 10.1016/j.foreco.2018.05.031

GHAFFARIAN, H.; PIÉGAY, H.; LOPEZ, D.; RIVIÈRE, N.; MACVICAR, B.; ANTONIO, A.; MIGNOT, E. Video-monitoring of wood discharge: first inter-basin comparison and recommendations to install video cameras. **Earth Surf. Process. Landforms**, v. 45, p. 2219-2234, 2020. DOI: 10.1002/esp.4875

CHOW, V.T. **Open Channel Hydraulics**. McGraw-Hill, 1959. 680p.

GIORDANENGO, J.H.; MANDEL, R.H.; SPITZ, W.J.; BOSSLER, M.C.; BLAZEWCZ, M.J.; YOCHUM, S.E.; JAGT, K.R.; LABARRE, W.J.; GURNEE, G.E.; HUMPHRIES, R.; UHING, K.T. **Living Streambanks: A Manual of Bioengineering Treatments for Colorado Streams**. Publicado por: AloTerra Restoration Services, LLC and Golder Associates, Inc., 2016. 152p.

GOMEZ, B. Bedload transport. **Earth-Science Reviews**, v. 31, p. 89-132, 1991.

GOMI, T.; SIDLE, R.C.; RICHARDSON, J.S. Understanding Processes and Downstream Linkages of Headwater Systems. **BioScience**, v. 52, n. 10, p. 905-916, 2002.

GOMI, T.; SIDLE, R.C.; WOODSMITH, R.D.; BRYANT, M.D. Characteristics of channel steps and reach morphology in headwater streams, southeast Alaska. **Geomorphology**, v. 51, p. 225-242, 2003.

GREGORY, S.V.; MELEASON, M.A.; SOBOTA, D.J. Modeling the dynamics of wood in streams and rivers. In: Gregory, S. V., K. L. Boyer, and A. M. Gurnell (Eds.) *The Ecology and Management of Wood in World Rivers*, v. 37, **American Fisheries Society Symposium**, Bethesda, MD, 2003. p. 315-335.

GUEDES, F.B.; SEEHUSEN, S.E. **Pagamentos por serviços ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios**. 2. ed. Brasília: MMA, 2011. 272p.

GURNELL, A.M. Wood in Fluvial Systems. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Wohl, E. (Ed.), **Treatise on fluvial geomorphology**. Academic Press, San Diego, CA. *Fluvial Geomorphology*, v. 9, 2013. p. 203-217. DOI: 10.1016/B978-0-12-374739-6.00236-0

HAGA, H.; KUMAGAI, T.; OTSUKI, K.; OGAWA, S. Transport and retention of coarse woody debris in mountain streams: an in situ field experiment of log transport and a field survey of coarse woody debris distribution. **Water Resources Research**, v. 38 (8), 2002. DOI: 10.1029/2001WR001123

HASSAN, M.A.; CHURCH, M.; LISLE, T.E.; BRARDINONI, F.; BENDA, L.; GRANT, G.E. Sediment Transport and Channel Morphology of Small, Forested Streams. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 41, n. 4, p. 853-876, 2005.

HASEGAWA, Y.; SUGIURA, N.; SHOUZAWA, M.; MIZUYAMA, T. An investigation of measures against woody debris through hydraulic model experiments. **Interpraevent**, Conf.: p. 135-143, 2010.

HJÜLSTROM, F. 1939. Transportation of detritus by moving water. In: Trask, P. D. (ed.) **Recent Marine Sediments**. AAPG Special Publication, v. 10, 1939. p. 5-31.

HOGAN, D.L.; LUZI, D.S. Channel Geomorphology: Fluvial Forms, Processes, and Forest Management Effects. In: Pike, R.G.; Redding, T.E., Moore, R.D.; Winker, R.D. & Bladon, K.D. (eds.). **Compendium of forest hydrology and geomorphology in British Columbia**. Victoria: British Columbia Ministry of Forest Range, For. Sci. Prog., Cap. 10, 2010. 805p.

HUGHES, V.; THOMS, M.C. **Associations between channel morphology and large woody debris in a lowland river**. The Structure, Function and Management Implications of Fluvial Sedimentary Systems (Proceedings of an international symposium held at Alice Springs, Australia, September 2002). IAHS Publ., n. 276, 2002.



IBGE. **Banco de dados de Informações Ambientais - Pedologia**. 2020. <<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>>. Acesso em: 3 out. 2020.

IBGE. **Projeto Levantamento e Classificação do Uso da Terra - Uso da Terra no Estado do Rio Grande do Sul**. 2010.

<<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95891.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2021.

IROUMÉ, A.; MAO, L.; ANDREOLI, A.; ULLOA, H.; ARDILES, M.P. Large wood mobility processes in low-order Chilean river channels. **Geomorphology**, v. 228, p. 681-693, 2015. DOI: 10.1016/j.geomorph.2014.10.025

IROUMÉ, A.; RUIZ-VILLANUEVA, V.; MAO, L.; BARRIENTOS, G.; STOFFEL, M.; VERGARA, G. Geomorphic and stream flow influences on large wood dynamics and displacement lengths in high gradient mountain streams. **Hydrological Processes**, v. 32, p. 2636-2653, 2018. DOI: 10.1002/hyp.13157

IROUMÉ, A.; RUIZ-VILLANUEVA, V.; SALAS-COLIBORO, S. Fluvial transport of coarse particulate organic matter in a coastal mountain stream of a rainy-temperate evergreen broadleaf forest in southern Chile. **Earth Surf. Process. Landforms**, v. 45, p. 3216–3230, 2020. DOI: 10.1002/esp.4961

ITOH, T.; OGAWA, K.; NISHIMURA, S.; KURAOKA, S. Preliminary Experimental Studies on Debris Flow with Woods focusing on Difference of Specific Weight of Tree Species. **International Journal of Erosion Control Engineering**, v. 3, n. 1, p. 9-19, 2010. DOI: 10.13101/ijece.3.9

IBAMA. **Plano de Manejo dos Parques Aparados da Serra e Serra Geral**. Ministério do Meio Ambiente, 2004.

KELLER, E.A.; SWANSON, F.J. Effects of large organic material on channel form and fluvial processes. **Earth Surface Processes**, v. 4, p. 361-380, 1979.

KEYS, T.A.; GOVENOR, H.; JONES, C.N.; HESSION, W.C.; HESTER, E.T.; SCOTT, D.T. Effects of large wood on floodplain connectivity in a headwater Mid-Atlantic stream. **Ecological Engineering**, v.118, p.134–142, 2018.

KIMURA, I.; KITAZONO, K. Effects of the driftwood Richardson number and applicability of a 3D–2D model to heavy wood jamming around obstacles. **Environmental Fluid Mechanics**, v. 20, p. 503-525, 2020. DOI: 10.1007/s10652-019-09709-6

KOBIYAMA, M.; MOTA, A.A.; CORSEUIL, C.W. **Recursos hídricos e saneamento**. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2008. 160p.

KOBIYAMA, M.; MICHEL, G. P.; GOERL, R. F. Relação entre desastres naturais e floresta. **Revista Geonorte**, v. 1, n. 6, p. 17-48, 2012.

KOBIYAMA, M., CAMPAGNOLO, K., DE MENEZES, D., PAIXÃO, M.A. Manejo da zona ripária para redução de risco de desastres no ambiente montanhoso. In: Junior,

L.M., Freitas, C.M., Lopes, E.S.S., Castro, G.R.B., Barbosa, H.A., Londe, L.R., Magnoni, M.G.M., Silva, R.S., Teixeira, T., Figueiredo, W.S. (Org.) **Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano**. Centro Paula Souza, São Paulo, p. 764-794, 2020.

KRAMER, N.; WOHL, E. Rules of the road: A qualitative and quantitative synthesis of large wood transport through drainage networks. **Geomorphology**, v. 279, p. 74-97, 2017. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.08.026

LANCASTER, S.T.; HAYES, S.K.; GRANT, G.E. Effects of wood on debris flow run out in small mountain watersheds. **Water Resources Research**, v. 39, n. 6, 1168, 2003. DOI: 10.1029/2001WR001227

LENZI, M.A. Step-pool evolution in the river Cordon, northeastern Italy. **Earth Surf. Process. Landforms**, v. 26, p. 991-1008, 2001. DOI: 10.1002/esp.239

MACFARLANE, W.A.; WOHL, E. Influence of step composition on step geometry and flow resistance in step-pool streams of the Washington, Cascades. **Water Resources Research**, v. 39, n. 2, 2003. DOI: 10.1029/2001WR001238

MAGILLIGAN, F.J.; NISLOW, K.H.; FISHER, G.B.; WRIGHT, J.; MACKEY, G.; LASER, M. The geomorphic function and characteristics of large woody debris in low gradient rivers, coastal Maine, USA. **Geomorphology**, v. 97, p. 467-482, 2008. DOI: 10.1016/j.geomorph.2007.08.016

MAO, L.; ANDREOLI, A.; LENZI, M.A. Geomorphic effects of large wood jams on a sub-antarctic mountain stream. **River Research and Applications**, v. 24, n. 3, p. 249-266, 2008. DOI: 10.1002/rra.1062

MAZZORANA, B.; ZISCHG, A.; LARGIADER, A.; HÜBL, J. Hazard index maps for woody material recruitment and transport in alpine catchments. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 9, p. 197-209, 2009. DOI: 10.5194/nhess-9-197-2009

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystem and human well-being: synthesis**. Washington: Island Press, 2005. 137p.

MOOS, C.; BEBI, P.; SCHWARZ, M.; STOFFEL, M.; SUDMEIER-RIEUX, K.; DORREN, L. Ecosystem-based disaster risk reduction in mountains. **Earth-Science Reviews**, v. 177, p. 497-513, 2018. DOI: 10.1016/j.earscirev.2017.12.011

MONTGOMERY, D.R.; BUFFINGTON, J.M. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. **Geological Society of America Bulletin**, v. 109, n. 5, p. 596-611, 1997.

MONTGOMERY, D.R.; MACDONALD, L.H. Diagnostic approach to stream channel assessment and monitoring. American Water Resources Association, **Journal of the American Water Resources Association**, v. 38, n. 1, p. 1-16, 2002.

MONTGOMERY, D.R.; PIÉGAY, H. Wood in rivers: interactions with channel morphology and processes. **Geomorphology**, n. 51, p. 1-5, 2003.

MOOS, C.; BEBIC, P.; SCHWARZ, M.; STOFFEL, M.; SUDMEIER-RIEUXG, K.; DORREN, L. **Ecosystem-based disaster risk reduction in mountains**. *Earth-Science Reviews*, v. 177, p. 497–513, 2018. DOI: 10.1016/j.earscirev.2017.12.011

MSRS – Museu de Solos do Rio Grande do Sul. Disponível em:<<https://www.ufsm.br/museus/msrs>>. Acesso em: 23 ago. 2021.

MUTZ, M.; KALBUS, E.; MEINECKE, S. Effect of in stream wood on vertical water flux in low-energy sand bed flume experiments. **Water Resources Research**, v. 43, p. W10424, 2007. DOI: 10.1029/2006WR005676

NAGASAKA, A.; NAKAMURA, F. The influences of land-use changes on hydrology and riparian environment in a northern Japanese landscape, **Landscape Ecology**, v. 14, p. 543-556, 1999.

NAKAMURA, F.; SWANSON, F.J. Effects of Coarse Woody Debris on Morphology and Sediment Storage of a Mountain Stream System in Western Oregon. **Earth Surf. Process. Landforms**, v. 18, p. 43-61, 1993.

NATURVÅRDSVERKET. **Guide to valuing ecosystem services**. Stockholm: Naturvårdsverket, 2018. 88p.

OLSON-RUTZ, K.M.; MARLOW, C.B. Analysis and Interpretation of Stream Channel Cross-Sectional Data. **North American Journal of Fisheries Management**, v. 12, p. 55-61, 1992.

PAIXÃO, M.A.; KOBIYAMA, M. Relevant parameters for characterizing mountain rivers: a review. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24, e. 10, 2019. DOI: 10.1590/2318-0331.241920180115

PALHIARINI, W.S.; PAGOTTO, J.P.A. A importância da vegetação ripária para ambientes aquáticos continentais. **SaBios: Revista de Saúde e Biologia**, v.10, n.2, p. 66-74, 2015.

PASTERNAK, G.B. Geomorphologist's Guide to Participating in River Rehabilitation. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Wohl, E. (Ed.), **Treatise on fluvial geomorphology**. Academic Press, San Diego, CA. *Fluvial Geomorphology*, v. 9, 2013. p. 843-860. DOI: 10.1016/B978-0-12-374739-6.00268-2

PAULA, F.R.de; FERRAZ, S.F.B.; GERHARD, P.; VETTORAZZI, C.A.; FERREIRA, A. Large Woody Debris Input and Its Influence on Channel Structure in Agricultural Lands of Southeast Brazil. **Environmental Management**, v. 48, p. 750-763, 2011. DOI: 10.1007/s00267-011-9730-4

PIEGAY, H.; GURNELL, A. M. Large woody debris and river geomorphological pattern: examples from S.E. France and S. England. **Geomorphology**, v. 19, p. 99-116, 1997.

- PINTO, C.F.; AGRA, J.U.M.; FURLEY, T.H.F. Uso da madeira de eucalipto na recuperação de rios: Projeto Renaturalize. **Revista O Papel**, v. 78, n. 8, p. 106-113, 2017.
- RAVAZZOLO, D.; MAO, L.; PICCOA, L.; SITZIA, T.; LENZI, M.A. Geomorphic effects of wood quantity and characteristics in three Italian gravel-bed rivers. **Geomorphology**, v. 246, p. 79-89, 2015. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.06.012
- Riparian Corridor Management Technical Advisory Committee*. Woody debris management 201, habitat structure method. Friends of the Rouge, 2005.
- RONI, P.; BEECHIE, T.; PESS, G.; HANSON, K. Wood placement in river restoration: fact, fiction, and future direction. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 72, n. 3, p. 466-478, 2015. DOI: 10.1139/cjfas-2014-0344
- ROSGEN, D.L. A classification of natural rivers. **Catena**, v. 21, p. 169-199, 1994.
- ROSGEN, D.L. Natural Channel Design: Fundamental Concepts, Assumptions, and Methods. In A. Simon, S.J.Bennett, & J.M. Castro (Eds.), **Stream Restoration in Dynamic Fluvial Systems: Scientific Approaches, Analyses, and Tools**, Geophysical Monograph Series 194, p. 69-93, 2011.
- RUIZ-VILLANUEVA, V.; CASTELLET, E.B.; DÍEZ-HERRERO, A.; BODOQUE, J.M.; SÁNCHEZ-JUNY, M. Two-dimensional modelling of large wood transport during flash floods. **Earth Surf. Process. Landforms**, v. 39, p. 438-449, 2014a. DOI: 10.1002/esp.3456
- RUIZ-VILLANUEVA, V.; DIEZ-HERRERO, A.; BODOQUE, J.M.; BLADE, E. Large wood in rivers and its influence on flood hazard. **Cuadernos de Investigación Geográfica**, v. 40, n. 1, p. 229-246, 2014b.
- RUIZ-VILLANUEVA, V.; PIÉGAY, H.; GAERTNER, V.; PERRET, V.; STOFFEL, M. Wood density and moisture sorption and its influence on large wood mobility in rivers. **Catena**, v. 140, p. 182-194, 2016a. DOI: 10.1016/j.catena.2016.02.001
- RUIZ-VILLANUEVA, V.; WYŻGA, B.; ZAWIEJSKA, J.; HAJDUKIEWICZ, M.; STOFFEL, M. Factors controlling large-wood transport in a mountain river. **Geomorphology**, v. 272, p. 21-31, 2016b. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.04.004
- SANTOS, R.; ELIAS, G.A.; MARTINS, H.deB.; PADILHA, P.T.; SOUZA, J.C.de; CITADINI-ZANETTE, V. O Furacão Catarina e a floresta ombrófila mista no Parque Nacional de Aparados da Serra, sul do Brasil. **Geosul**, v. 30, n. 60, p. 109-124, 2015. DOI: 10.5007/2177-5230.2015v30n60p109
- SCHUETT-HAMES, D.; PLUES, A.E.; WARD, J.; FOX, M.; LIGHT, J. **TFW Monitoring Program Method Manual for the Large Woody Debris Survey**. NW Indian Fisheries Commission, Timber, Fish & Wildlife: Olympia, WA, USA, 1999. 66p.
- SEO, J.I.; NAKAMURA, F.; CHUN, K.W. Dynamics of large wood at the watershed scale: a perspective on current research limits and future directions. **Landscape and**

**Ecological Engineering**, v. 6, p. 271-287, 2010. DOI: 10.1007/s11355-010-0106-3

SHIMIZU, Y.; NELSON, J.; FERREL, K.A.; ASAHI, K.; GIRI, S.; INOUE, T.; IWASAKI, T.; JANG, C.; KANG, T.; KIMURA, I.; KYUKA, T.; MISHRA, J.; NABI, M.; PATSINGHASANEE, S.; YAMAGUCHI, S. Advances in computational morphodynamics using the International River Interface Cooperative (iRIC) software. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 45, p. 11-37, 2020. DOI: 10.1002/esp.4653

SHRESTHA, B.B.; NAKAGAWA, H.; KAWAIKE, K.; BABA, Y.; ZHANG, H. Driftwood deposition from debris flows at slit-check dams and fans. **Natural Hazards**, v. 61, p. 577-602, 2012. DOI: 10.1007/s11069-011-9939-9

SIMON, A.; DOYLE, M.; KONDOLF, M.; SHIELDS JR., F.D.; RHOADS, B.; GRANT, G.; FITZPATRICK, F.; JURACEK, K.; MCPHILLIPS, M.; MACBROOM, J. How well do the Rosgen classification and associated "natural channel design" methods integrate and quantify fluvial processes and channel response? **In: WORLD WATER AND ENVIRONMENTAL RESOURCES CONGRESS**, 2005, Anchorage, AK. DOI: 10.1061/40792(173)584

SMITH, W.S.; SILVA, F.L.; BIAGIONI, R.C. Desassoreamento de rios: quando o Poder Público ignora as causas, a biodiversidade e a ciência. **Ambiente & Sociedade**, v. 22, 2019. DOI: 10.1590/1809-4422asoc0057r1vu19L1AO

SOUSA, R.S.S.; SUTILI, F.J. Aspectos técnicos das plantas utilizadas em engenharia natural. **Ciência & Ambiente**, v. 46/47, 2013. 176p.

SOUZA, D.P.; KOBAYAMA, M. Ecoengenharia em zona ripária: Renaturalização de rios e recuperação de vegetação ripária. In: Seminário de Hidrologia Florestal: Zonas Ripárias (1: 2003: Alfredo Wagner) Florianópolis: UFSC/PPGEA, **Anais**, 2003. p. 121-131.

SUTILI, F.J.; DORNELES, R.S.; VARGAS, C.O.; KETTENHUBER, P.L.W. Avaliação da propagação vegetativa de espécies utilizadas na estabilização de obras de terra com técnicas de engenharia natural. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 1-12, 2018.

SWANSON, F.J.; GREGORY, S.V.; IROUMÉ, A.; RUIZ-VILLANUEVA, V.; WOHL, E. Reflections on the history of research on large wood in rivers. **Earth Surf. Process. Landforms**, v. 46, p. 55–66, 2021. DOI: 10.1002/esp.4814

TADAKI, M.; BRIERLEY, G.; CULLUM, C. River classification: theory, practice, politics. **WIREs Water**, v. 1, p. 349-367, 2014. DOI: 10.1002/wat2.1026

The Chalkstream Habitat Manual. **The Wild Trout Trust**, 2008. 9p.

THOMAS, H.; NISBET, T. Modelling the hydraulic impact of reintroducing large woody debris into watercourses. **Journal of Flood Risk Management**, v.5, p.164-174, 2012.

TONINA, D.; BUFFINGTON, J.M. Hyporheic Exchange in Mountain Rivers I: Mechanics and Environmental Effects. **Geography Compass**, v. 3, n. 3, p. 1063-1086, 2009. DOI: 10.1111/j.1749-8198.2009.00226.x

TUCCI, C.E.M.; SILVEIRA, R. L. Análise de Consistência de Dados Fluviométricos. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, 1985.

U.S. Bureau of Reclamation (USBR) and U.S. Army Engineer Research and Development Center (ERDC). **National Large Wood Manual: Assessment, Planning, Design, and Maintenance of Large Wood in Fluvial Ecosystems: Restoring Process, Function, and Structure**. 2016. 628p + Appendix. Available from: <http://www.usbr.gov/pn/>

USACE-RAS. **River Analysis System, HEC-RAS v 5.0 – User's Manual**. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2016a. 960p.

USACE-RAS. **River Analysis System, HEC-RAS v 5.0 – Hydraulic Reference Manual**. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2016b. 547p.

WALLERSTEIN, N.P. Dynamic model for constriction scour caused by large woody debris. **Earth Surf. Process. Landforms**, v. 28, p. 49-68, 2003. DOI: 10.1002/esp.426

WATANABE, H.; ITOH, T.; KAITSUKA, K.; NISHIMURA, S. Experimental Studies on Debris Flow with Logs Focusing on Specific Weight Difference of Log Species. **Journal of Mountain Science**, v. 10, n. 2, p. 315-325, 2013. DOI: 10.1007/s11629-013-2512-0

WHEATON, J.M.; FRYIRS, K.; BRIERLEY, G.; BANGEN, S.; BOUWES, N.; O'BRIEN, G. Geomorphic Mapping and Taxonomy of Fluvial Landforms. **Geomorphology**, v. 248, p. 273-295, 2015. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.07.010

WOHL, E. Threshold-induced complex behavior of wood in mountain streams. **Geology**, v. 39, n. 6, p. 587-590, 2011a. DOI: 10.1130/G32105.1

WOHL, E. Seeing the forest and trees: wood in stream restoration in the Colorado Front Range, United States. In: Simon, A., Bennett, S.J., Castro, J.M. (Eds.), **Stream Restoration in Dynamic Fluvial Systems: Scientific Approaches, Analyses, and Tools**, Washington, EUA, 2011b. p. 399-418. DOI: 10.1029/2010GM000987

WOHL, E. Of wood and rivers: bridging the perception gap. **WIREs Water**, v. 2, p. 167-176, 2015. DOI: 10.1002/wat2.1076

WOHL, E.; SCOTT, D.N.; YOCHUM, S.E. **Managing for large wood and beaver dams in stream corridors**. Gen. Tech. Rep. 404. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2019. 137 p.

WOHL, E.; KRAMER, N.; RUIZ-VILLANUEVA, V.; SCOTT, D.N.; COMITI, F.; GURNELL, A.M.; PIEGAY, H.; LININGER, K.B.; JAEGER, K.L.; WALTERS, D.M.;



FAUSCH, K.D. The Natural Wood Regime in Rivers. **BioScience**, v. 69, n. 4, p. 259-273, 2019. DOI: 10.1093/biosci/biz013

WOHL, E.; IROUMÉ, A. Introduction to the Wood in World Rivers Special Issue. **Earth Surf. Process. Landforms**, p. 1-6, 2021. DOI: 10.1002/esp.5081

WOHL, E.; SCAMARDO, J.E. The Resilience of Logjams to Floods. **Hydrological Processes special issue**, v. 35, p. 1-15, 2021. DOI: 10.1002/hyp.13970

WOHL, E.; BLEDSOE, B.P.; FAUSCH, K.D.; KRAMER, N.; BESTGEN, K.R.; GOOSEFF, M.N. Management of large wood in streams: an overview and proposed framework for hazard evaluation. **Journal of the American Water Resources Association**, v.52, n.2, p.315–335, 2016.. <http://dx.doi.org/10.1111/1752-1688.12388>.

WONDZELL, S.M.; GOOSEFF, M.N. Geomorphic Controls on Hyporheic Exchange across Scales: Watersheds to Particles. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Wohl, E. (Ed.), **Treatise on fluvial geomorphology**. Academic Press, San Diego, CA. *Fluvial Geomorphology*, v. 9, 2013. p. 203-217.

WREGGE, M.S; STEINMETZ, S.; JÚNIOR, C.R.; ALMEIDA, I.R. **Atlas Climático da Região Sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Embrapa, 2ª Edição, Brasília (DF), 2012.

ZIMMERMANN, A.; CHURCH, M. Channel morphology, gradient profiles and bed stress during flood in a step-pool channel. **Geomorphology**, v. 40, n. 3-4, p. 311-327, 2001. DOI: 10.1016/S0169-555X(01)00057-5

## APÊNDICE A

Figura A1 - Tabela de dados coletados em cada campanha de levantamento de LW.

DADOS DE CAMPO							
Data	Local		Folha nº				
	Ponto GPS	Foto	Origem	Orientação	L (m)	D (m)	Observação
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							

## APÊNDICE B

Tabela A1 – Seções transversais para análise do diâmetro dos sedimentos de leite, em mm, a partir do exutório do arroio Perdizes, onde  $D_{10}$  = diâmetro correspondente a 10% da distribuição cumulativa;  $D_{16}$  = diâmetro correspondente a 16% da distribuição cumulativa;  $D_{50}$  = diâmetro mediano do material de leite;  $D_{84}$  = diâmetro correspondente a 84% da distribuição cumulativa e  $D_{90}$  = diâmetro correspondente a 90% da distribuição cumulativa.

Seção	Morfologia	LW	$D_{90}$	$D_{84}$	$D_{50}$	$D_{16}$	$D_{10}$	Distância exutório (m)
1	Cascade	Com LW	63,2 <sup>a</sup>	57,9 <sup>a</sup>	30,4 <sup>a</sup>	18,4 <sup>a</sup>	16,3 <sup>a</sup>	2,9
2	Piscina (meio)	Sem LW	110,9 <sup>a</sup>	100,7 <sup>b</sup>	53,3 <sup>b</sup>	18,2 <sup>b</sup>	14,4 <sup>b</sup>	23,6
3	Cascade	Com LW	76,8 <sup>a</sup>	55,0 <sup>a</sup>	24,0 <sup>a</sup>	13,1 <sup>a</sup>	11,2 <sup>a</sup>	39,4
4	Piscina (final)	Sem LW	57,6 <sup>a</sup>	53,8 <sup>b</sup>	32,0 <sup>b</sup>	21,1 <sup>b</sup>	19,2 <sup>b</sup>	62,3
5	Piscina (meio)	Sem LW	102,4 <sup>a</sup>	87,0 <sup>b</sup>	32,0 <sup>b</sup>	11,4 <sup>b</sup>	10,1 <sup>b</sup>	80,6
6	Piscina (meio)	Com LW	56,8 <sup>a</sup>	52,5 <sup>a</sup>	28,0 <sup>a</sup>	9,8 <sup>a</sup>	7,6 <sup>a</sup>	112,3
7	Cascade	Com LW	55,2 <sup>a</sup>	49,9 <sup>a</sup>	26,0 <sup>a</sup>	11,0 <sup>a</sup>	8,4 <sup>a</sup>	128,5
8	Piscina (meio)	Sem LW	59,0 <sup>a</sup>	56,0 <sup>b</sup>	38,9 <sup>b</sup>	12,7 <sup>b</sup>	10,9 <sup>b</sup>	157,6
9	Cascade	Sem LW	57,6 <sup>a</sup>	53,8 <sup>b</sup>	32,0 <sup>b</sup>	18,9 <sup>b</sup>	16,6 <sup>b</sup>	179,1
10	Piscina (meio)	Sem LW	56,8 <sup>a</sup>	52,5 <sup>b</sup>	29,3 <sup>b</sup>	13,8 <sup>b</sup>	7,6 <sup>b</sup>	204,6
11	Cascade	Com LW	92,8 <sup>a</sup>	65,9 <sup>a</sup>	36,0 <sup>a</sup>	7,5 <sup>a</sup>	6,2 <sup>a</sup>	251,4
12	Piscina (meio)	Sem LW	86,4 <sup>a</sup>	63,6 <sup>b</sup>	43,4 <sup>b</sup>	24,3 <sup>b</sup>	21,2 <sup>b</sup>	279,8
13	Piscina (meio)	Com LW	51,2 <sup>a</sup>	43,5 <sup>a</sup>	24,0 <sup>a</sup>	11,7 <sup>a</sup>	8,8 <sup>a</sup>	308,0
14	Antes step-pool	Com LW	112,0 <sup>a</sup>	102,4 <sup>a</sup>	53,3 <sup>a</sup>	14,4 <sup>a</sup>	12,0 <sup>a</sup>	365,3
15	Pós step-pool	Sem LW	125,9 <sup>a</sup>	111,8 <sup>b</sup>	40,0 <sup>b</sup>	7,0 <sup>b</sup>	4,4 <sup>b</sup>	384,2
16	Piscina (meio)	Sem LW	124,8 <sup>a</sup>	103,7 <sup>b</sup>	30,0 <sup>b</sup>	14,1 <sup>b</sup>	8,8 <sup>b</sup>	400,2
17	Piscina (meio)	Com LW	83,2 <sup>a</sup>	61,4 <sup>a</sup>	40,9 <sup>a</sup>	12,6 <sup>a</sup>	9,9 <sup>a</sup>	428,0
18	Piscina (final)	Com LW	35,2 <sup>a</sup>	30,2 <sup>a</sup>	18,0 <sup>a</sup>	10,9 <sup>a</sup>	9,8 <sup>a</sup>	483,4
19	Piscina (meio)	Com LW	53,6 <sup>a</sup>	47,4 <sup>a</sup>	15,2 <sup>a</sup>	8,1 <sup>a</sup>	5,2 <sup>a</sup>	548,4
20	Piscina (início)	Sem LW	107,2 <sup>a</sup>	94,7 <sup>b</sup>	28,0 <sup>b</sup>	16,6 <sup>b</sup>	10,4 <sup>b</sup>	584,2
21	Antes step-pool	Sem LW	115,2 <sup>a</sup>	107,5 <sup>b</sup>	64,0 <sup>b</sup>	24,5 <sup>b</sup>	21,3 <sup>b</sup>	601,0
22	Piscina (meio)	Com LW	121,6 <sup>a</sup>	79,4 <sup>a</sup>	20,8 <sup>a</sup>	10,0 <sup>a</sup>	8,3 <sup>a</sup>	636,7
23	Piscina (início)	Com LW	51,2 <sup>a</sup>	43,5 <sup>a</sup>	16,0 <sup>a</sup>	7,8 <sup>a</sup>	6,4 <sup>a</sup>	649,8
24	Cascade	Com LW	57,6 <sup>a</sup>	44,2 <sup>a</sup>	14,7 <sup>a</sup>	8,3 <sup>a</sup>	5,6 <sup>a</sup>	671,4
25	Piscina (final)	Sem LW	124,8 <sup>a</sup>	103,7 <sup>b</sup>	37,3 <sup>b</sup>	21,6 <sup>b</sup>	19,5 <sup>b</sup>	707,4
26	Piscina (final)	Com LW	104,5 <sup>a</sup>	90,5 <sup>a</sup>	48,0 <sup>a</sup>	22,1 <sup>a</sup>	16,8 <sup>a</sup>	734,4
		<b>Média</b>	82,4	69,7	32,9	14,2	11,4	-
		<b>Desvio padrão</b>	29,2	24,7	12,5	5,4	5,1	-
		<b>Coefficiente de variação</b>	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	-

\*seções com e sem LW seguidas de mesma letra entre as linhas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.