

Enquadramento de mananciais rurais com diferentes usos do solo no bioma Pampa: um instrumento para a gestão de bacias hidrográficas

Legal framework for rural watersheds with different land uses in Pampa biome: a tool for catchments management

Submetido em: 08/12/15

Revisado em: 18/05/16

Aprovado em: 21/06/16

Mirian Lago Valente
Jussara Cabral Cruz
Carine Baggiotto

RESUMO: O enquadramento dos mananciais em classes de qualidade da água, segundo os usos preponderantes, contempla um dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos. O estudo tem como objetivo verificar o enquadramento de duas bacias hidrográficas rurais, conforme a Resolução 357/2005 do CONAMA, com diferentes usos do solo (silvicultura de eucalipto x campo com pecuária extensiva), localizadas em Rosário do Sul, RS, considerando diferentes períodos de pluviosidade. Para tanto, quinzenalmente, realizaram-se coletas de água e a análise dos parâmetros: turbidez, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5,20}), sólidos totais e *Escherichia coli* nas duas bacias hidrográficas, durante os meses de agosto de 2011 a agosto de 2012. Posteriormente, calcularam-se as cargas médias de cada parâmetro de qualidade monitorado com base nas concentrações de análise em função da vazão de água registrada no momento da coleta. O enquadramento dos mananciais nas classes do CONAMA (Resolução nº 357/05), por meio das curvas de permanência dos parâmetros de qualidade DBO_{5,20}, turbidez, *Escherichia coli* e sólidos totais, em geral, apresentou enquadramento em classes maiores para a bacia com plantio de eucalipto, com exceção da variável *Escherichia coli* que apresentou classe 4 para a bacia com uso de campo e pecuária extensiva.

Palavras-chaves: silvicultura, bacia hidrográfica, curvas de permanência, qualidade da água

ABSTRACT: The classification of water sources in water quality classes, according to the predominant uses, includes one of the management tools of water resources. The study aims to check the composition of two rural catchments under CONAMA Resolution 357/2005, with different land uses (eucalyptus silviculture x pasture with extensive cattle farming) located in Rosário do Sul, RS, considering different periods of rainfall. For this, every two weeks, water sampling was performed and analysis of parameters: turbidity, Biochemical Oxygen Demand (BOD_{5,20}), total solids and *Escherichia coli* in the two watersheds, during the months of August 2011 to August 2012. Subsequently, the average charges were calculated for each quality parameter monitored based on the analysis of concentrations depending on water flow recorded at the time of collection. The classification of the catchment in CONAMA classes (Resolution No. 357/05), through the permanence curve of BOD_{5,20} quality parameters, turbidity, *Escherichia coli* and total solids in general presented larger classes for the catchment with eucalyptus, except for the variable *Escherichia coli* which was class 4 for the basin using field and extensive cattle farming.

Keywords: silviculture, catchment, permanence curve, water quality

INTRODUÇÃO

O enquadramento dos corpos hídricos em classes de qualidade da água, segundo os usos preponderantes, contempla um dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos estabelecidos na Lei Federal 9433/97, a qual institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). Para a obtenção deste enquadramento, faz-se necessário a análise dos parâmetros de qualidade da água e, posteriormente, a comparação dos resultados com os valores de inter-

valos estabelecidos para os atributos físicos, químicos e biológicos da Resolução do CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005).

O monitoramento da qualidade da água, por sua vez, deve ser definido em termos de suas características físico-químicas e biológicas, procedimento que tem sido cada vez mais implementado nos estudos da hidrologia florestal (GARDIMAN JUNIOR, 2012; GUIMARÃES, 2012; SWEENEY; NEWBOLD, 2014).

Em mananciais rurais, quando a mudança no uso do solo é executada sem planejamento ou quando a área recebe um manejo inapropriado, poderá acarretar no comprometimento da saúde ambiental da bacia hidrográfica (LIMA; ZAKIA, 2006). Com isso, o manejo adequado das atividades desenvolvidas nessas áreas permite a manutenção da oferta hídrica, bem como, da garantia de qualidade da água com o propósito de conservação ambiental.

A literatura científica tem proposto como metodologia para o enquadramento de qualidade d'água a diluição da carga da variável analisada na curva de permanência de vazões (BRITTES et al., 2007; CRUZ; SILVEIRA, 2007; FORMIGONI et al. 2011; IRION et al., 2003). A curva de permanência relaciona a vazão de um corpo hídrico com a porcentagem do tempo em que ela é superada ou igualada, a qual sintetiza a variabilidade das vazões, caracterizando a base de comportamento para a sustentabilidade de sistemas aquáticos (CRUZ, 2001).

Os autores Cruz e Silveira (2007) ressaltam que o conhecimento dos intervalos de confiança destas vazões serve como referência para que o planejador otimize o uso dos recursos hídricos. Com isso, esta função hidrológica aplicada às variáveis de qualidade da água corresponde à distribuição de frequências da

concentração de determinado parâmetro. Para Burin (2011), trata-se de uma distribuição de frequência acumulada para determinados parâmetros, onde se permite averiguar a permanência dos parâmetros de qualidade da água em determinadas concentrações.

Desse modo, o presente estudo de caso tem como objetivo verificar o enquadramento de duas bacias hidrográficas rurais, conforme a Resolução 357/2005 do CONAMA, com diferentes usos do solo (silvicultura de eucalipto x campo com pecuária extensiva) considerando diferentes períodos de pluviosidade.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e caracterização das áreas investigadas

O estudo foi realizado em duas pequenas bacias hidrográficas localizadas no município de Rosário do Sul, Rio Grande do Sul. Uma das áreas pertence à empresa Stora Enso S/A, bacia com atividade de silvicultura com eucalipto (BE), enquanto que a outra, de posse particular, apresenta área com uso de campo e pecuária extensiva (BC) (Figura 1). A seleção das áreas teve por princípio a metodologia das bacias pareadas,

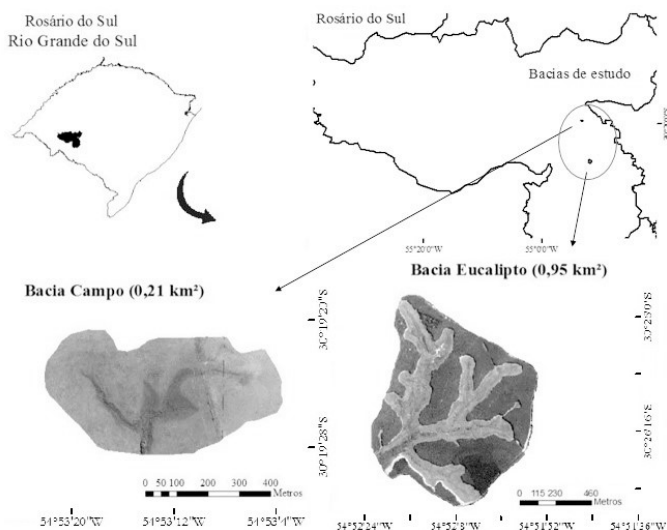


FIGURA 1: Mapas com os limites das bacias hidrográficas investigadas, bacia com campo e pecuária extensiva e bacia com silvicultura de eucalipto, Rosário do Sul, RS.

no que se refere às semelhanças das características de solo, relevo e regime pluviométrico, no entanto, com diferentes usos do solo. As duas bacias, independentes, se distanciam 13 km entre si em linha reta no sentido Norte/Sul, sob as altitudes de 153 e 133 metros para a BE e BC, respectivamente.

O clima da região é classificado como Cfa, subtropical úmido com verão quente (ALVARES et al., 2013). Os solos das áreas são classificados como Argissolo Bruno Acinzentado Alítico, originados de siltito e arenito em transição com os Planossolos da Depressão Central (STRECK et al., 2008).

A BE é caracterizada pela atividade de silvicultura em conjunto com as áreas de preservação permanente (APP's). A área compreende 0,95 km², sendo 0,48 km² destinados ao plantio de eucalipto, composto pelas espécies *Eucalyptus urograndis*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunni*, onde 91,4 % do plantio pertence a espécie *Eucalyptus urograndis*, madeira destinada à produção de celulose. O restante da área (0,46 km²) corresponde às áreas de proteção ambiental sem presença de pecuária a qual corresponde a 48 % da área da bacia, percentual superior a recomendada pela legislação brasileira (20 %), conforme a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012).

Instrumentalização das áreas

Cada manancial foi instrumentalizado com um vertedor triangular de 90° (construído no exutório) com parede delgada confeccionada por uma chapa de aço galvanizado de 3 mm, conforme a Norma Técnica da CPRH N. 2.004; um poço tranquilizador com dimensões de 60 x 60 x 80 cm de altura, onde foram instalados os transdutores de pressão para a medição automática horária das cotas de vazão. Em clareira adjacente, foram instalados 4 funis coletores de pluviosidade.

Amostragem da água e análises físico-químicas e biológicas

Entre os meses de agosto de 2011 e agosto de 2012, realizaram-se as amostras de água superficial no exutório das bacias com frequência quinzenal, aproximadamente, perfazendo um total de 30 amostras, sendo 5 amostras no verão, 6 no outono, 9 no inverno e 10 na primavera.

Após a coleta, as amostras foram armazenadas e transportadas até o Laboratório de Engenharia e Meio Ambiente (LEMA) do Centro de Tecnologia da UFSM para a análise dos parâmetros: turbidez (Turb.), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5,20}), sólidos totais (ST) e *Escherichia coli*, parâmetros que apresentam classes de enquadramento conforme a Resolução 357/2005 do CONAMA. Tais procedimentos analíticos seguiram as metodologias descritas no APHA (1995).

Processamento quanti-qualitativo dos dados

As curvas de permanência foram confeccionadas com base nos registros de vazão horárias registradas pelos sensores alocados nas bases experimentais, excetuando-se aqueles que ultrapassaram a capacidade limite da estrutura hidráulica do vertedor equivalente a 102 L s⁻¹ (35 cm de cota) conforme a Equação 1 sugerida por CPRH (2004) e PRONI (1990).

$$Q = (1,42 \times (H^{2,5})) \times 1000 \quad (1)$$

Em que: “Q” é a vazão em L s⁻¹, “H” é cota do sensor ou da régua em metros.

A partir do cálculo da vazão, as curvas de permanência foram confeccionadas pelo método que consiste em atribuir a cada vazão “q” uma probabilidade de excedência associada “p” (CRUZ, 2001):

$$p = 1 - FQ(q) \quad (2)$$

Em que: “p” é a frequência de excedência; “q” é a vazão e FQ (q) é a função densidade cumulativa de probabilidade das vazões.

Posteriormente, calcularam-se as cargas médias de cada parâmetro de qualidade monitorado com base nas concentrações de análise. A fórmula para o cálculo da carga segue a seguir.

$$Carga\ Média = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot C_i}{n} \quad (3)$$

Em que: “n” corresponde ao número de valores da amostra; “Q” representa a vazão do curso d’água no momento da amostragem de água; e “C” representa

a concentração do parâmetro de qualidade da água considerado.

A concentração de um determinado parâmetro de qualidade em função da vazão varia no tempo, onde os valores obtidos nas análises representam um fato instantâneo da condição de qualidade da água. Com isso, para a obtenção das concentrações prováveis desses elementos em função das vazões de permanência, dividiram-se as cargas médias constantes pelas vazões de permanência para as duas áreas de estudo, conforme a equação (4) proposta por Cruz e Silveira (2007).

$$C = \text{Carga}/Q \quad (4)$$

Em que: “C” representa a concentração do parâmetro analisado em mg L^{-1} ; “Carga” carga média do parâmetro analisado em mg s^{-1} ; e “Q” vazão (L s^{-1}).

Após, as concentrações observadas nas curvas de permanência de qualidade foram comparadas aos limites das classes de enquadramento dos corpos hídricos estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 357/05.

Além disso, para fins comparativos, as coletas foram agrupadas para datas com precipitação (precipitação ocorrida no dia da coleta e/ou que ocorreu até dois dias anteriores à coleta) caracterizando como

período “úmido” e sem precipitação antecedente da coleta, denominado como período “seco”.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, na Tabela 1, verificam-se as datas das coletas para as diferentes bacias monitoradas (BE e BC) com os respectivos valores de precipitação diária acumulada até 2 dias anteriores ao dia da coleta diária (mm), vazão (L s^{-1}) e concentração dos parâmetros analisados.

Por meio da Tabela 1, observa-se que a precipitação incidente nas áreas de estudo apresentou variação entre as áreas monitoradas. A precipitação total registrada durante o período monitorado foi de 583,8 e 721,6 mm, para a BC e BE, respectivamente. Esses valores corresponderam a apenas 40,42 % (BC) e 49,96 % (BE) da precipitação média anual observada na série histórica (1444,3 mm) correspondente ao período entre 1953 a 2010. Sendo assim, cabe ressaltar que durante o período monitorado, entre os meses de novembro de 2011 a maio de 2012, o Estado do Rio Grande do Sul enfrentou uma intensa estiagem, consequência do fenômeno *La Niña*, o qual registrou duzentos dias de irregularidade de chuva, condição que resultou em prejuízos bilionários para o campo e abastecimento de água em várias comuni-

TABELA 1
Variáveis qualitativas e componentes hidrológicos na bacia com silvicultura de eucalipto (BE) e na bacia com campo e pecuária extensiva (BC).

Datas de coletas	BE	BC	BE	BC	BE	BC	BE	BC	BE	BC	BE	BC
	ppt* (mm)		Q (L s^{-1})		Turb (UNT)		ST (mg L^{-1})		DBO _{5,20} (mg L^{-1})		E. coli (NMP)	
04/08/11	12,3	30,2	8,1	2,4	33	4,4	115	27	1	0,8	106,7	36,5
17/08/11	1,6	0	3,4	1,7	17,7	4,2	140,5	50,5	0,8	0,3	189,7	48,1
24/08/11	0	0	3,6	1,8	17,7	3,5	114,5	27	0,8	0,5	83,3	18,3
31/08/11	15,1	13,2	3,2	1,2	18,7	3,5	153,3	54	1,2	0,9	51,6	54
08/09/11	0	0	3,2	1,2	21,2	4,2	185,5	91,3	0,5	0,9	41,2	14,4
21/09/11	26	34,1	6,6	1,2	43	3,7	109	9	1,2	0,8	49,7	46,6
29/09/11	0	0	2,4	0,8	9,6	8	193,3	62,4	0,6	0,4	169,5	571
13/10/11	13,7	13,3	32,6	3,3	23	10,2	99,2	30,5	1,4	0,7	288,2	403
19/10/11	0	0	1,2	0,6	9,8	12,4	145	45,2	2,2	1	86,9	60,2
26/10/11	90,4	51,6	7,5	1	41,7	6,5	131	20	1,9	1,4	106,8	128,6

Continua...

TABELA 1- Continuação...

Datas de coletas	BE	BC	BE	BC	BE	BC	BE	BC	BE	BC	BE	BC
	ppt* (mm)		Q (L s ⁻¹)		Turb (UNT)		ST (mg L ⁻¹)		DBO _{5,20} (mg L ⁻¹)		E. coli (NMP)	
03/11/11	0	0	2,1	0,6	7,4	11,2	142	39,7	1,5	1,2	19,1	52,6
17/11/11	0	0	1,5	0,2	12,8	20,3	200,8	100,5	2,2	0,8	14,9	185,8
30/11/11	7,5	0	1,5	0,2	6,2	23,5	193,3	62,4	3,6	3,9	76,3	307,6
07/12/11	0	7,4	1,1	0,2	11,7	32,3	231,5	78	3,5	3,6	188,5	137,5
13/12/11	47	0	0,8	0,1	7,8	22,2	218	82	2	1,5	37,5	93,5
04/01/12	0	0	0,7	0,1	5	12,4	220,5	51,5	2,1	1,9	220,5	2053
18/01/12	0	0	0,3	0	4,2	28,8	199	33,5	1,8	1,4	1936,5	265
02/02/12	5,2	0	0,2	0,1	14,6	36,8	233	74	2,1	1,9	54,5	1984
22/02/12	55,3	26,9	0,8	0,1	5,2	7	272,5	97,5	3,1	2,2	1287,5	2053
01/03/12	18,8	44,8	4	6,3	6,7	13,6	191,5	66	4,1	4	5231	7068
21/03/12	8	0	0,4	0,2	3,1	9,5	233	52	1,7	1,4	5	466
03/04/12	0	0	0,2	0,1	12,4	12,5	211,5	37,5	0,9	1,4	5	12098
02/05/12	0	0	0,5	0,1	2,1	5,5	415	246,5	4,5	1,1	55	160
16/05/12	0	0	1	0,1	3,2	5,6	230,5	51,5	2,1	1,9	55	134
31/05/12	0	9,3	1,1	0,1	3,1	7,5	175	58,5	2,1	5,9	31,5	455
14/06/12	14,9	0	0,9	0,2	8,2	5,5	241,5	91,5	2,1	5,4	240	610
27/06/12	0	0	0,8	0,6	4,1	6,3	229,5	73,5	6,3	3	114	1666
11/07/12	0,7	1,1	1,7	0,3	11,8	43	170,5	35	2,6	3,2	87,5	48392
26/07/12	0	0	0,6	0,1	3,7	4,5	200	44	2,3	1,5	0	4,5
08/08/12	0	0	0,4	0,3	4,2	5,7	205,5	79,5	1,9	1,9	0	4
Período úmido												
Média	22,6	21,8	5,1	1,5	17,2	14,9	178,7	50,3	2,1	2,5	558,0	5355,6
Máxima	90,4	51,6	32,6	6,3	43,0	43,0	272,5	97,5	4,1	5,9	5231,0	48392,0
Mínima	0,7	1,1	0,2	0,1	3,1	3,5	99,2	9,0	0,8	0,7	5,0	36,5
Período seco												
Média	0,0	0,0	1,3	0,4	8,3	13,3	206,2	70,0	2,2	1,7	188,8	1084,8
Máxima	0,0	0,0	3,6	1,8	21,2	36,8	415,0	246,5	6,3	5,4	1936,5	12098,0
Mínima	0,0	0,0	0,2	0,0	2,1	3,5	114,5	27,0	0,5	0,3	0,0	4,0

Nota: Células em destaque na coloração cinza – período úmido para a BE e BC; ppt*: precipitação diária acumulada até 2 dias anteriores ao dia da coleta (mm); Q: vazão (L s⁻¹); Turb: turbidez (UNT); ST: Sólidos Totais (mg L⁻¹); DBO_{5,20}: Demanda Bioquímica de Oxigênio a uma temperatura média de 20 °C durante 5 dias (mg L⁻¹) e *E. coli*: *Escherichia coli* (NMP).

dades do interior, inclusive na Região da Campanha (CEMETRS, 2012). É importante destacar, também, que o ano atípico monitorado pode ter influenciado nos resultados de análise e, consequentemente, na

caracterização do enquadramento dos mananciais sob os diferentes usos do solo.

Ao longo do período monitorado, observou-se uma vazão média de 3,1 e 0,8 L s⁻¹, respectivamente

TABELA 2

Concentrações médias das variáveis monitoradas nas áreas de estudo, bem como, os limites das classes de enquadramento da Resolução 357/2005 do CONAMA.

Variáveis	Concentração média		Res. CONAMA 357/2005			
	Bacia eucalipto	Bacia campo	*Cl 1	Cl 2	Cl 3	Cl 4
<i>Escherichia coli</i> (NMP 100 mL ⁻¹)	366,00	2.656,98	≤200	≤1000	≤4000	-
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg L ⁻¹)	2,14	1,89	≤3	≤5	≤10	-
Sólidos Totais (mg L ⁻¹)	193,35	62,38	--	≤500	--	-
Turbidez (UNT)	12,42	12,47	≤40	-- ≤100	--	-

Nota: Cl = Classes de enquadramento

para a BE e BC (Tabela 1), o que corresponde, respectivamente, às vazões específicas médias de 0,032 e 0,04 L s⁻¹ ha⁻¹. Em função da estiagem predominante, as vazões máximas foram de 32,6 L s⁻¹ para a BE e 6,3 L s⁻¹ para a BC. Em geral, as maiores vazões foram observadas para mananciais ocupados com vegetação de porte (BC), conforme a constatação de Peláez (2014) e Shit (2014). Contudo, a maior vazão verificada na BE pode estar associada a vegetação de maior porte, que durante as condições de grande estiagem contribui para manutenção da vazão de base devido aos processos de infiltração de água no solo, o que contribui para o maior armazenamento de água sob estas condições. Durante essa estiagem, Baumhardt (2014) observou para o mesmo local de estudo que embora a evapotranspiração seja superior na BE em relação à BC e a vazão média seja superior na BC, durante o período de intensa estiagem a BE manteve-se perene em função da melhor recarga proporcionada pela atividade de silvicultura.

Na Tabela 2 estão apresentadas as concentrações médias das variáveis monitoradas nas áreas de estudo, conforme calculado pela equação (4).

As concentrações máximas obtidas para a maioria das variáveis de análise estiveram associadas ao período de estiagem, enquanto que as concentrações mínimas ao período úmido. Essa condição também foi observada por Kibena et al. (2014) e Vendramini et al. (2013).

Na Figura 2, observam-se as curvas de permanência das vazões, conforme a diluição das cargas médias de cada parâmetro para os respectivos períodos monitorados (seco e úmido) nas áreas de estudo

(BC e BE), juntamente, com os limites das classes de enquadramento da Resolução CONAMA 357/2005.

Na Figura 2, verifica-se nitidamente a influência da precipitação nas concentrações dos parâmetros de qualidade da água. Em geral, verificou-se na BE que o enquadramento para os parâmetros DBO_{5,20}, turbidez e sólidos totais permaneceu em classes maiores da Resolução CONAMA 357/2005, com exceção da variável *Escherichia coli*, para a qual foi maior na BC.

Para a variável DBO_{5,20}, as maiores concentrações ocorreram na BE para o período de maior estiagem (6,3 mg L⁻¹), sendo a máxima de 5,4 mg L⁻¹ para a BC. Os maiores valores observados para o período mais seco podem estar associados com a menor capacidade de autodepuração natural e da diluição dos componentes solutos devido aos fluxos reduzidos. Essa condição também foi observada por Kibena et al. (2014) e Salla et al. (2014). Contudo, as concentrações verificadas neste estudo são semelhantes as observadas por Lubenow et al. (2012) em área preservada ao redor de nascente, no município de Irati, PR (1,52 mg L⁻¹). Durante o período seco, o enquadramento da BC para o parâmetro DBO_{5,20} permaneceu na classe 1 para 93 % do período de permanência da vazão monitorada, classe 2 (5 %) e classe 3 (2 %) (Figura 2a). Para o mesmo período, se verificou na BE, o enquadramento em classe 1 para 74 % do período de permanência da vazão monitorada, classe 2 (10 %), classe 3 (16 %) (Figura 2a). Já para o período úmido, os percentuais do tempo de permanência da vazão corresponderam a 70 % em classe 1, 10 % em classe 2, 3 % em classe 3 e 17 % em classe 4 para a BC (Figura 2b). A concentração média, máxima e mínima na BC foi igual

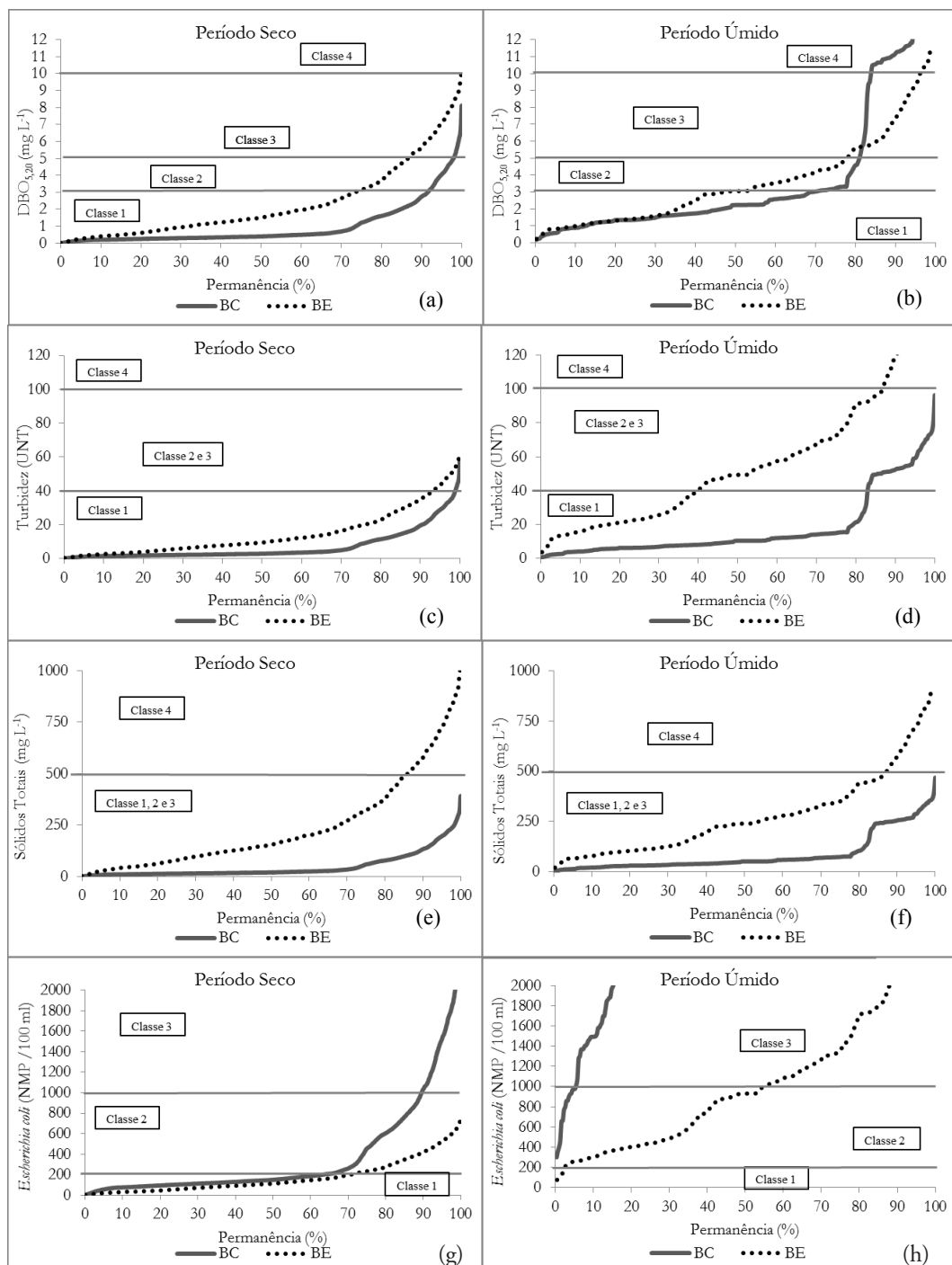


FIGURA 2: Curvas de permanência das concentrações de DBO_{5.20} (a; b), turbidez (c; d), sólidos totais (e; f) e *Escherichia coli* (g; h) para as áreas de estudo e os limites de concentração das classes de enquadramento dos corpos hídricos regulamentadas pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

a 2,4; 5,9 e 0,7 mg L⁻¹, respectivamente. Já para a bacia com eucalipto, o enquadramento em classe 1 correspondeu a 43 % do tempo de permanência da vazão monitorada, classe 2 (35 %), classe 3 (18 %) e classe 4 (4 %), conforme Figura 2b. Os valores das concentrações, para esse período, variaram entre 0,8 e 4,1 mg L⁻¹ para a BE (Tabela 1).

A partir da Figura 2d, verifica-se que a BC se enquadrou na classe 1 (turbidez ≤ 40 UNT) em 84 % do tempo da vazão de permanência e em 16 % para as classes 2 e 3 (valores ≤ 100 UNT), para o período úmido enquanto que para o período seco (Figura 2c), o manancial se enquadrou na classe 1 em 98 %. Na BE, para o período úmido (Figura 2d) se verificou 40 % em classe 1, 45 % em classe 2 e 15 % em classe 4, enquanto que para o período seco o enquadramento na classe 1 correspondeu a 92 % do tempo da vazão de permanência (Figura 2c). Apesar dos maiores valores de turbidez na BE para as datas com registro de chuva (Tabela 1) e evidenciado na Figura 2d, acredita-se que esta condição esteja mais relacionada ao acúmulo de material orgânico (folhas e restos vegetais em decomposição) no curso d'água ao invés do carreamento de sedimentos durante os eventos de chuva, uma vez que os eventos ocorridos não geraram vazões de grande magnitude. Esta condição também pode ser justificada pelos maiores valores de sólidos totais verificados na BE, conforme evidenciado nas Figuras 2e e 2f, especialmente para o período mais chuvoso. Entretanto, durante o período de maior estiagem (seco), maiores valores foram observados na BC, os quais se devem a presença do gado na área e revolvimento do solo, já que o manancial de estudo também serve como bebedouro para os animais. Além disso, a literatura reforça a hipótese de que a cobertura florestal (plantação e/ou nativa) contribui significativamente para a redução da turbidez e da concentração de sólidos totais (BASNYAT et al., 2000; PELÁEZ, 2014; RODRIGUES et al., 2014). Diante dessa condição, um estudo realizado na Índia indicou que para cada um por cento de diminuição na cobertura florestal aumenta os valores de turbidez, sólidos totais suspensos e a *Escherichia coli* em 8,41%, 4,17% e 3,91%, respectivamente (SINGH; MISHRA, 2014).

Para a variável "sólidos totais", os quais são compostos pelas frações sólidos suspensos e dissolvidos, as maiores concentrações foram observadas na BE

(Tabela 1) fato que pode estar associado a uma maior concentração de sólidos orgânicos e inorgânicos presentes no sistema lótico monitorado, conforme já mencionado. Os valores observados na BE foram muito inferiores às concentrações de ST verificados por Lubenow et al. (2012), para diferentes usos rurais, sendo os maiores valores observados durante as coletas realizadas no período seco. Esse comportamento também foi observado por Kibena et al. (2014) e Salla et al. (2014), em que os autores associam à condição de menor fluxo nos córregos. Para a BE, durante o período seco o corpo hídrico se enquadrou em classe 1, 2 e 3 para 83 % do tempo de permanência e em classe 4 para 17 %, semelhante ao verificado para o período úmido, em que o enquadramento nas classes 1, 2 e 3 foi para 85 % da vazão registrada e o restante enquadrado em classe 4. Na BC o enquadramento em classe 1, 2 e 3 ocorreu para 100 % do tempo de permanência de vazão para os períodos seco e úmido (Figuras 2e e 2f).

As concentrações de *Escherichia coli* observados na BC foram maiores em relação à BE, principalmente, durante o período úmido (Figura 2h). Esses valores estão diretamente relacionados à atividade de pecuária na área, uma vez que parte do dejetos animal tende a ir em direção ao riacho no momento das enxurradas, ocasionando o aumento do número de bactérias. Na BE, os valores de *Escherichia coli* ocorreram em função da contaminação de dejetos de animais silvestres que circulavam na mata, tais como lebres, servos ou graxains que eventualmente foram vistos na área de estudo. Além disso, acredita-se que os valores registrados na BE possam estar relacionados a ocorrência eventual de invasão de gado na área de estudo, pois durante uma das idas a campo foram observados alguns bovinos próximos à bacia de estudo. Como as áreas com plantio são extensas (5.600 ha) e possuem cercas frágeis há a possibilidade do gado ter acesso à área, demorando-se até dois meses para achar uma rês quando perdida na floresta.

Na BC, o enquadramento para o período seco correspondeu a classe 1 para 63 % do tempo da permanência de vazão, classe 2 para 25 % e classe 3 com 12 %. Enquanto que, para o período úmido, o enquadramento apresentou grande diferença, sendo que apenas 5 % do tempo da permanência de vazão se classificou em classe 2, 52 % em classe 3 e 48 %

em classe 4 (Figura 2h), o que ilustra a necessidade de ações de gerenciamento para reduzir a carga de *Escherichia coli* no manancial. Já para a BE, verificou-se que durante o período seco, 73 % do tempo permaneceu em classe 1 e 27 % em classe 2 (Figura 2g), enquanto que para o período úmido, 2 % sem manteve em classe 1, 55 % em classe 2 e 43 % em classe 3.

CONCLUSÕES

O enquadramento dos mananciais nas classes do CONAMA (Resolução nº 357/05), por meio das curvas de permanência dos parâmetros de qualidade DBO_{5,20}, turbidez, *Escherichia coli* e sólidos totais, em geral, apresentou enquadramento em classes maiores para a bacia com plantio de eucalipto, com exceção da variável *Escherichia coli* que apresentou classe 4 para a bacia com uso de campo e pecuária extensiva.

Em geral, verificou-se maiores concentrações das variáveis monitoradas para os períodos de menor pluviosidade (seco), condição que pode estar relacionada à baixa capacidade de autodepuração natural do

manancial em função dos fluxos reduzidos ocorridos para o período que estiagem.

Estudos como este, com a finalidade de avaliar o enquadramento de mananciais com diferentes atividades de produção (silviagropastoril) são incipientes e são essenciais para a gestão dos recursos hídricos, uma vez que norteiam as atividades de manejo, conservação e uso dos recursos naturais.

Para fins comparativos, recomenda-se o monitoramento das variáveis físico-químicas e biológicas da água a longo prazo, com o propósito de comparar anos hídricos com médias superiores e inferiores à média histórica de determinada região.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos que colaboraram para a realização deste trabalho: ao CNPQ, CAPES, FINEP, FAPERGS, CT-HIDRO, Universidade Federal de Santa Maria, Grupo GERHI, Empresa STORA ENSO e ao Sr. Ildo José Spanevello, proprietário da fazenda São Carlos, na qual foi realizada parte desta pesquisa.

Referências

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, p.711-728. 2013. Disponível em: https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppens_climate_classification_map_for_Brazil. Acesso em: 12 fev. 2015.
- APHA; AWWA; WPCF. *Standard Methods for the Examination of water and wastewater*. 19. ed. Washington D.C., 1995.
- BASNYAT, P., TEETER, L. D., LOCKABY, B. G., FLYNN, K. M., The use of remote sensing and GIS in watershed level analyses of non-point source pollution problems. *Forest Ecology and Management*. v. 128, p. 65–73. 2000. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037811279900273X>. Acesso em: 12 fev. 2015.
- BAUMHARDT, E. Hidrologia de bacia de cabeceira com eucaliptocultura e campo nativo na região da campanha gaúcha. 2014. 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.
- BRASIL. Lei n. 9.433 de 08 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, 08 jan, 1997. Disponível em: (http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm) >. Acesso em: 02 mar. 2015.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 03 de abril de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2012.
- BRASIL. Lei n. 12.651 de 25 de maio de 2012. Institui o Código Florestal Brasileiro. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, 25 mai, 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: 02 mai. 2013.
- BRITTES, A. P. Z.; PORTO, M. F. A.; FERNANDES, C. S. Proposta de uma ferramenta de auxílio para aplicação do enquadramento dos corpos d'água. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, 2007.
- BROWN, A. E., ZHANG, L.; MCMAHON, T. A. A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. *Journal of Hydrology*, v. 310, p.28-61. 2005.
- BURIN, R. Variabilidade da qualidade da água e do estado trófico do reservatório do Vacacaí Mirim. 2011. 120 f. Mestrado em Engenharia Civil. Universidade federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

CEMETRS - Centro Estadual de Meteorologia do Rio Grande do Sul. A estiagem de 2011/2012 e sua influência na produção agropecuária do Rio Grande do Sul. Nota Técnica. Disponível em: http://www.cemet.rs.gov.br/upload/20120606155033nota_tecnica_10_06_06_2012_fi-nal.pdf. Acesso em: 25 nov. 2012.

CRUZ, J. C. Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais. 2001. 199 f. Tese (Doutor em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas hidráulicas. 2001.

CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L. da. Disponibilidade hídrica para outorga (I): avaliação por seção hidrológica de referência. REGA: Revista de Gestão de Água da América Latina, v. 4, n. 2, p. 51-64, jul./dez. 2007.

CPRH N 2004. Medição de vazão de efluentes líquidos: escoamento Livre. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/normas-cprh-2004.pdf> Acesso em: set. 2011.

FORMIGONI, Y.; BRITES, A. P.; FERNANDES, C.; PORTO, M. Análise crítica da curva de permanência de qualidade da água com base em dados históricos. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2011. Disponível em: http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/ec99f1061725d63695b7bea3067296d4_31aef3f050dfe0930e76fff29fa8b397.pdf Acesso em: 12 dez. 2012.

IRION, C. A. O.; SILVA, C. E. da.; RESTZ, E. F.; SILVEIRA, G. L. da.; CRUZ, J. C. Balanço de Cargas Poluidoras pelo Monitoramento Quali-Quantitativo dos Recursos Hídricos em Pequena Bacia Hidrográfica. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 8, n. 1, p. 5-11, jan./mar. 2003. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=37&SUMARIO=566>. Acesso em: 15 jun. 2016.

GARDIMAN JUNIOR, G. Qualidade da água de microbacias hidrográficas sob atividades silviculturais em Aracruz, ES. 2012. 123 f. Mestre em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo. 2012.

GUIMARÃES, R. Z. Avaliação da qualidade de água no processo de recuperação de áreas de plantio de Pinus taeda em APP na bacia do rio Campinas – Joinville – SC. 2012. 168 f. Mestre em Conservação da Natureza. Universidade Federal do Paraná. 2012.

KIBENA, J.; NHAPE, I.; GUMINDOGA, W. Assessing the relationship between water quality parameters and changes in landuse patterns in the Upper Manyame River, Zimbabwe. Physics and Chemistry of the Earth, v. 67-69, p. 153–163, 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706513001435>. Acesso em: 15 jun. 2016.

LIMA, W. de P.; ZAKIA, M. J. B. Saúde Ambiental da Microbacia. Cap. V. p. 61-75. São Paulo: Rima, 2006. 226 p.

LUBENOW, A. T. et al. Impacto do uso e ocupação da terra na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Nhapiindazal, Irati (PR). Ambiência Guarapuava. v.8, n.3, p. 845-858, set./dez. 2012.

PELÁEZ, J. J. Z. Hidrologia comparativa em bacias hidrográficas com eucalipto e campo. 2014. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) -Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

PRONI - PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO. Medidores de vazão para pequenos cursos de água: manual do usuário. São Paulo: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 1990. 88 p.

RODRIGUES, M. F.; REICHERT, J. M.; MINELLA, J. P. G.; DALBIANCO, L.; LUDWIG, R. L.; RAMON, R.; RODRIGUES, L. A.; BORGES JÚNIOR, N. Hydrosedimentology of nested subtropical watersheds with native and eucalyptus forests. Journal of Soils and Sediments. v. 14, l. 7, p. 1311-1324. 2014. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11368-014-0885-5>. Acesso em: 15 jun. 2016.

SALLA, M. R.; PAREDES-ARQUIOLA, J.; SOLERA, A.; ÁLVAREZ, J. A.; PEREIRA, C. E.; ALAMY FILHO, J. E.; OLIVEIRA, A. L. de. Integrated modeling of water quantity and quality in the Araguari River basin, Brazil. Latin American Journal of Aquatic Research, v. 42, n. 1, p. 224–244, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.cl/pdf/lajar/v42n1/art19.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2016.

SHIT, P. K.; BHUNIA, G. S.; MAITI, R. Vegetation Influence on Runoff and Sediment Yield in the Lateritic Region: An Experimental Study. Geography e Natural Disasters. v. 4 -1. p. 1-9. 2014. Disponível em: <http://www.omicsgroup.org/journals/vegetation-influence-on-runoff-and-sediment-yield-in-the-lateritic-region-an-experimental-study-2167-0587.1000116.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2016.

SINGH, S.; MISHRA, A. Spatiotemporal analysis of the effects of forest covers on stream water quality in Western Ghats of peninsular India. Journal of Hydrology, v. 519, n. PA, p. 214–224, 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169414005265>. Acesso em: 09 jun. 2016.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. do; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. Solos do Rio Grande do Sul. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.

SWEENEY, B. W.; NEWBOLD, J. D. Streamside forest buffer width needed to protect stream water quality, habitat, and organisms: a literature review. AWRA Journal of the American Water Resources Association. v. 50, l. 3, p. 560–584, Jun. 2014. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jawr.12203/epdf>. Acesso em: 15 jun. 2016.

VENDRAMINI, D.; BONASSI, J. A.; MORTATTI, J. Aspectos da influência antrópica na carga dissolvida do rio Piracicaba (SP). Geologia USP - Serie Cientifica, v. 13, n. 3, p. 99-112, 2013. Disponível em: http://papego.igc.usp.br/scielo.php?pid=s1519-874x2013000300008&script=sci_arttext. Acesso em: 10 jun. 2016.

Mirian Lago Valente Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. (mirian_sm@yahoo.com.br)

Contribuição do autor:

Elaboração da ideia principal, responsável pelo desenvolvimento do trabalho, pesquisa bibliográfica, realização das coletas e análises em laboratório, tratamento estatístico, análise dos resultados e redação do artigo.

Jussara Cabral Cruz Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. (jussaracruz@gmail.com)

Contribuição do autor:

Elaboração da ideia principal, organização da metodologia da pesquisa, contribuiu na análise e na discussão dos resultados e na redação do artigo, orientadora da pesquisa.

Carine Baggiotto Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. (carine.bg@hotmail.com)

Contribuição do autor:

Contribuiu na realização das coletas e análises em laboratório, e na redação do artigo.