

## XII ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS

### **ANÁLISE DO IMPACTO DA IMPLEMENTAÇÃO DE TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO COMO MEDIDA DE CONTROLE NO LOTE NO CAMPUS II DA FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU - FURB**

*Gabrielly Cristhine Zwang Baptista<sup>1\*</sup> ; Leticia Hirt<sup>2</sup> ; Talita Montagna<sup>1</sup> ; Jéssica Regina Camilo<sup>1</sup> & Carolina Theiss<sup>2</sup>*

**RESUMO** – Devido a urbanização, a redução das áreas permeáveis associada ao subdimensionamento das redes de drenagem, resultam em inundações frequentes fazendo com que surgisse métodos alternativos de mitigação dos efeitos adversos do escoamento pluvial, os LID. São dispositivos projetados para reter o escoamento excedente, como exemplo a trincheira de infiltração. Uma forma de analisar o impacto em que as técnicas LID podem gerar em uma região, é através de simulações baseadas em modelos hidrológicos, que incluem manejo de águas pluviais e filtração, como o SWMM. O estacionamento do Campus II da FURB foi escolhido para estudo, pois possui estes problemas citados. O objetivo deste trabalho é analisar a performance da implementação de trincheira de infiltração no estacionamento do Campus II da FURB através do modelo SWMM. Para realizar o estudo caracterizou-se a área e seu solo através de análise granulométrica. Pesquisou-se os dados necessários para inserção no modelo, como chuva, temperatura, bacias e sub-bacias. Realizou-se o dimensionamento das trincheiras e aplicou-as no modelo. Com a simulação notou-se o aumento do tempo de pico e a redução da vazão de pico após a aplicação das trincheiras de infiltração.

**ABSTRACT**– Due to urbanization, the reduction of permeable areas associated with under-sizing of drainage networks results in frequent flooding, because that, methods of mitigating the adverse effects of rainfall were created, known as LID, are emerging. Are devices designed to retain excess flow, we can cite as an example the infiltration trench. One way to analyze the impact that LID techniques can generate in a region is through simulations based on hydrological models, which include rainwater management and filtration, like the SWMM. The FURB Campus II parking lot was chosen for study because it has these problems mentioned. The objective of this work is to analyze the performance of the infiltration trench implementation in the FURB Campus II parking using the SWMM model. To carry out the study, the area and its soil were characterized by granulometric analysis. The data required for insertion in the model, such as rainfall, temperature, basins and sub-basins, were investigated. The trenches were dimensioned and applied to the model. With the simulation, it was noticed the increase of the peak time and the reduction of the peak flow after the application of the infiltration trenches.

**Palavras-Chave** – Inundação. LID. SWMM. Trincheira de infiltração.

### **INTRODUÇÃO**

Com a revolução industrial, deu-se início às primeiras cidades, situadas ao entorno das indústrias. Essas áreas eram ocupadas por trabalhadores, sem qualquer espécie de planejamento urbano. Desde então, a ocupação de áreas urbanas ocorreu de forma inadequada, e como consequência, houve a redução da permeabilidade do solo. Essa redução, fez com que os sistemas convencionais de drenagem urbana instalados, ficassem subdimensionados, não possibilitando a condução das águas pluviais aos corpos d'água (Eckart et al., 2017).

O aumento de superfícies pouco permeáveis associado ao subdimensionamento das redes de drenagem existentes, resulta na redução do tempo de resposta, na elevação do volume de escoamento superficial, da frequência e da magnitude das cheias (Eckart et al., 2017).

Perante esses cenários, surgem métodos alternativos de mitigação dos efeitos adversos do escoamento pluvial, que visam o conceito de desenvolvimento urbano sustentável, como o Low impact development (LID) (Desenvolvimento de baixo impacto). São dispositivos que possuem benefícios econômicos, sociais e ecológicos (Her et. al., 2017). As medidas LID possuem como principal objetivo a infiltração, retenção ou detenção das águas pluviais. Alguns exemplos de medidas compensatórias são pavimento permeável e trincheira de infiltração. Estas medidas podem ser adaptadas nas infraestruturas já existentes, mantendo seu principal uso, como em estacionamentos, calçadas, jardins e estradas (Eckart et al., 2017).

Uma maneira de analisar o impacto que as técnicas LID podem gerar em uma região, é através de simulações baseadas em modelos hidrológicos (XING et al., 2016). Atualmente existem inúmeros modelos, nos quais incluem manejo de águas pluviais, efeito das instalações de armazenamento, filtração, controle de qualidade e quantidade de água (Elliott e Trowsdale, 2007).

Um local que possui este problema é o bairro Itoupava Seca na cidade de Blumenau. Situado na região central do município, é banhado pelo Rio Itajaí Açu. O bairro tem por característica possuir poucas áreas verdes, predominando coberturas do solo pouco permeáveis, elevando assim os volumes de escoamento superficial no local. Dentre os estabelecimentos presentes no bairro, encontra-se o Campus II da Fundação Universidade Regional de Blumenau – FURB. O campus frequentemente registra incidentes de inundações no lote devido a chuvas intensas, que, por conta da baixa permeabilidade no solo, acaba inutilizando as áreas de estacionamento.

Visto isto, há a necessidade de pesquisar medidas alternativas para reduzir ou retardar estas inundações, portanto, o presente trabalho busca demonstrar a performance da implantação de trincheiras de infiltração no estacionamento do campus II da FURB, e como a utilização das mesmas auxiliariam na redução de inundações da área analisada.

## MATERIAL E MÉTODOS

## ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é o Campus II da FURB, localizado na Rua São Paulo, no bairro Itoupava Seca, na cidade de Blumenau, Santa Catarina ( $26^{\circ}53'28.61''S/49^{\circ}05'06.15''O$ ). O local está situado aproximadamente a uma altitude de 19 m acima do mar (Figura 1). O Campus possui uma área de 35.588,97 m<sup>2</sup>. A amostra estudada possui área de 26.200 m<sup>2</sup>. O campus é composto por 9 blocos, totalizando a área construída de aproximadamente 6.000 m<sup>2</sup> (Figura 2). De acordo com o cadastro de imóveis da Prefeitura de Blumenau, ele está em uma área 100% urbana e possui cota de inundação entre 10,1 e 12 metros.

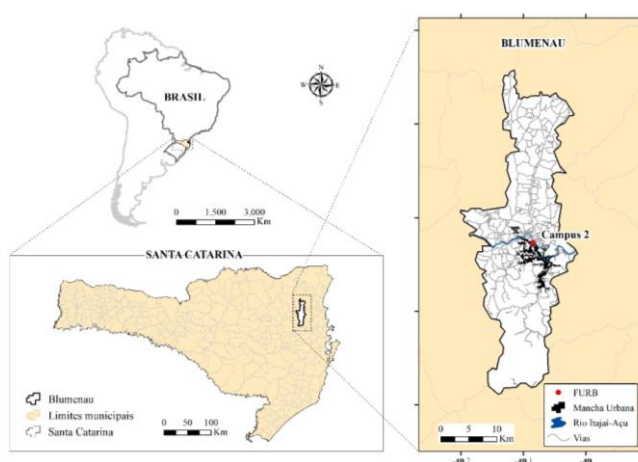


Figura 1 - Localização da área estudada.



Figura 2 - Identificação da área estudada.

## CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Realizou-se o ensaio de granulometria, que consiste na determinação da distribuição granulométrica do solo. O experimento foi realizado de acordo com a NBR-7181– Análise Granulométrica de Solos. Também se realizou o ensaio a sedimentação. Com os dados obtidos nos ensaios, plotou-se o gráfico granulométrico e se utilizou a pirâmide de textura para classificar o tipo de solo.

## ELEMENTOS DE ENTRADA NO MODELO SWMM

Para realizar este estudo são necessários dados de entrada para o modelo SWMM, como dados meteorológicos e cartográficos.

Dados meteorológicos e de precipitação

Utilizou-se dois cenários pluviométricos para a simulação no modelo, o primeiro baseou-se em uma chuva real obtida pela estação pluviométrica da Rua Coripós, localizada aproximadamente 2,0 Km da área de estudo. Já o segundo baseou-se em uma chuva de projeto, calculada com um período de retorno de 2 anos. Os dados meteorológicos basearam-se nos valores da Estação do Parque Ramiro Ruediger. Ambos os dados foram fornecidos pela entidade AlertaBLU e coletados a cada 15 minutos.

### Delimitação das Bacias

Para a delimitação das bacias, utilizou-se as cartas digitais planialtimétricas fornecidas pela Prefeitura Municipal de Blumenau (PMB). Estas cartas foram publicadas em julho de 2003, e nela encontra-se a hidrografia, construções, curvas de nível, vegetações e vias da cidade, em uma escala 1:2.000.

### Dimensionamento das trincheiras de infiltração

Para o cálculo de dimensionamento das trincheiras de infiltração, utilizou-se o método da Curva Envelope, apresentado por Silveira e Goldenfum (2007). O método da curva envelope utiliza a curva de massa, no tempo, dos volumes de entrada do dispositivo e comparada com a curva de massa dos volumes de saída, e a diferença máxima entre estas duas curvas é o volume de dimensionamento, conforme Equação 1.

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial \cdot (H_E - H_S)}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

### Parâmetros para o modelo SWMM

Para a utilização do modelo SWMM é necessário inserir algumas características das bacias, pluviômetros, nós, condutos e dados da técnica LID utilizada. Inseriu-se as propriedades das bacias, iniciando pela associação do pluviômetro à bacia, após, através do programa AutoCAD retirou-se as áreas, comprimentos, declividades e áreas impermeáveis existentes. Depois, adotou-se valores para o coeficiente de Manning e para a profundidade de armazenamento em depressões, relativas as parcelas de solo permeáveis e impermeáveis, utilizando como base os valores sugeridos pelo manual do programa. A propagação do escoamento adotado foi “*pervious*” que significa que o escoamento parte da área impermeável para a área permeável. O método de infiltração do solo utilizado foi o da Curva numérica.

Para a caracterização dos nós é necessário especificar a cota em que ele se encontra no terreno e a profundidade máxima do mesmo. A cota variou conforme o ponto do nó e para a profundidade máxima adotou-se 1,1 m, referente ao recobrimento e o diâmetro da tubulação de drenagem

Por fim, caracterizam-se os condutos. A ligação entre eles deve ser realizada conforme o escoamento da água, possuindo sempre o nó de entrada e nó de saída. Adotou-se tubos circulares, de diâmetro de 400 e 50 mm para a bacia 2 e 1, respectivamente. O diâmetro de 400 mm é o menor indicado para o escoamento de águas pluviais. Como o modelo não permite a simulação com a ausência de tubulações, foi incorporado um diâmetro fictício de 50 mm para a bacia 1, pois é o menor diâmetro permitido para a simulação. O valor da lâmina d'água utilizado foi de 80% do diâmetro do tubo, o comprimento foi medido na planta com o programa AutoCAD, o coeficiente de Manning utilizado é para tubos de concreto, e a altura do conduto no nó (offset) foi de 0,15 m.

Para a caracterização das trincheiras de infiltração é necessário primeiramente criar a mesma, inserindo seus dados de superfície, armazenamento e dreno. Neste estudo não foi considerado superfície e dreno e considerou-se que a superfície seria a mesma brita presente no armazenamento. A altura de armazenamento adotada foi conforme o dimensionamento das trincheiras, o volume de vazios refere-se a brita 4 utilizada, a permeabilidade do solo conforme o tipo do solo e a colmatagem existente no dispositivo. Após a criação do LID insere-se a técnica na sub-bacia, determinando a área do dispositivo e a área em que o mesmo tratará. O modelo não considera o local em que o dispositivo será implantado.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Os ensaios de análise granulométrica e sedimentação definiram que o solo analisado é composto de 1,2% de argila, 5,1% de silte e 93,7% de areia. Através da análise da pirâmide de classificação textural, o solo é classificado como arenoso.

### MÉTODO DE INFILTRAÇÃO E DIMENSIONAMENTO

O método de infiltração adotado é uma aproximação a partir da denominada Curva numérica (CN) do NRCS (National Resources Conservation Service), que estima o escoamento superficial do um solo. Através do ensaio de granulometria foi possível conhecer a utilização do solo, sua classificação e assim, o valor de CN. Neste estudo o solo foi classificado como Tipo A e a utilização do mesmo como estacionamento, resultando em  $CN = 76$  (USEPA, 2015).

Para realizar o dimensionamento das trincheiras de infiltração utilizou-se o método da Curva Envelope. Foram dimensionadas seis trincheiras de infiltração, cada uma com sua respectiva dimensão. Utilizou-se período de retorno de 2 anos e duração da chuva de 30 minutos.

Para as trincheiras localizadas na bacia 2 (trincheiras 1, 2, 3, 4 e 5) do terreno analisado, utilizou-se os mesmos parâmetros de entradas, porém dimensões distintas. O coeficiente de escoamento ( $C_M$ ) desenvolveu-se através da média aritmética das áreas construídas e das áreas de paralelepípedo. Por fim, calculou-se a altura máxima da trincheira, todos os dados necessários para o dimensionamento das mesmas encontram-se na Tabela 1. As alturas máximas calculadas são elevadas pois trata-se de um solo altamente compactado, desta forma, necessita-se retirar esta camada superior compactada para realizar a implantação das trincheiras nas camadas mais profundas.

Tabela 1 - Dimensionamento trincheiras de infiltração

Trincheira	Área (m <sup>2</sup> )	IDF (mm/h)	B (m)	L (m)	$C_M$	$\beta$	$\gamma$	qs	$\eta$	Hmáx (m)
1	7330	68,83	3	75	0,76	24,88	0,0007	59	0,4	2,76
2	2402	68,83	2	30	0,69	27,55	0,0010	59	0,4	2,85
3	4004	68,83	2	50	0,69	27,55	0,0010	59	0,4	2,85
4	4004	68,83	2	50	0,69	27,55	0,0010	59	0,4	2,85
5	3203	68,83	2	40	0,69	27,55	0,0010	59	0,4	2,85
6	5256	68,83	2,5	100	0,60	12,61	0,0008	59	0,4	1,36

## SIMULAÇÃO

Realizou-se a simulação de quatro maneiras diferentes, sendo elas através da chuva real com a trincheira, outro sem a trincheira e da chuva de projeto com e sem a trincheira. Com a simulação obteve-se o ciclo hidrológico das sub-bacias para cada uma das chuvas (Tabela 2).

Tabela 2 - Ciclo hidrológico

Chuva real	Bacia	Precipitação (mm)	Evapotranspiração (mm)	Infiltração (mm)	Escoamento superficial (mm)
	A1	50,6	2,25	3,15	46,29
	A2	50,6	2,42	6,34	40,83
Chuva de projeto	Bacia	Precipitação (mm)	Evapotranspiração (mm)	Infiltração (mm)	Escoamento superficial (mm)
	A1	131,49	0	4,98	123,63
	A2	131,49	0	9,96	116,04

Observa-se que na chuva de projeto não ocorreu evapotranspiração, pois, em nenhum dado avaliado durante as 24 horas a chuva havia cessado. O valor de infiltração é a quantidade de água em

que o solo consegue absorver a chuva, já o escoamento superficial é a lâmina d'água escoada pelo terreno que aumenta proporcionalmente com a precipitação. O escoamento proveniente das sub-bacias é outro dado que se retira do modelo. Assim, realizou-se a comparação do escoamento com as trincheiras e sem as trincheiras, para a chuva real (Figura 3 e 4) e para chuva de projeto (Figura 5 e 6).

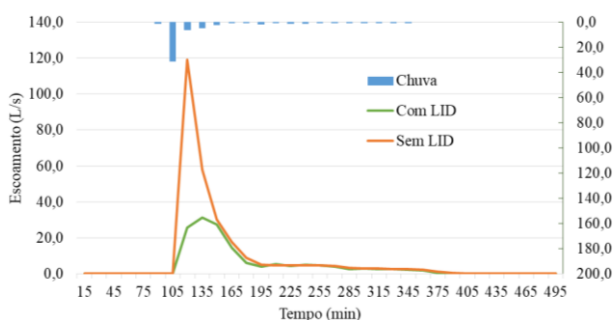


Figura 3 - Escoamento da chuva real para bacia 1

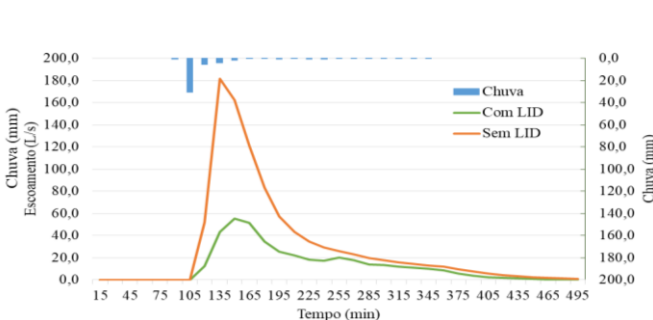


Figura 4 - Escoamento da chuva real para bacia 2

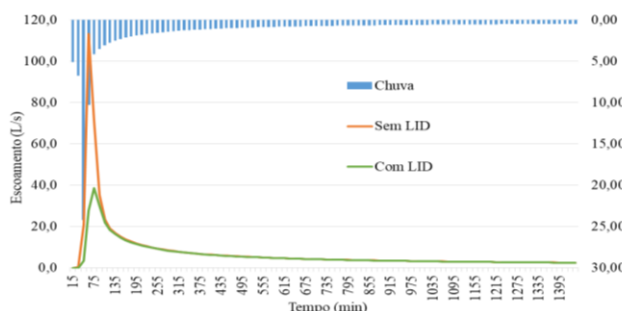


Figura 5 - Escoamento chuva projeto para bacia 1

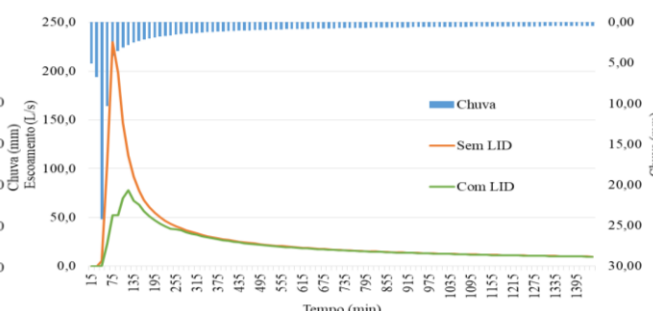


Figura 6 - Escoamento chuva projeto para bacia 2

Nota-se que o escoamento das bacias em ambas as chuvas sofreu redução com a aplicação das trincheiras. Durante a chuva real a vazão de pico da bacia 1 sofreu redução de 74%, e a bacia 2 sofreu redução de 70%. Já durante a chuva de projeto esta diminuição da vazão de pico foi de 66% em ambas as bacias. Além disso, verifica-se que o tempo de pico aumentou em 15 minutos para a bacia 1 em ambas as chuvas e para a bacia 2 durante a chuva real, já a bacia 2 na chuva de projeto obteve um aumento de tempo de pico de 60 minutos. Observa-se assim, que a utilização da trincheira de infiltração auxiliária no aumento do tempo de pico e na redução da vazão de pico em ambas as bacias e chuvas. O desempenho das trincheiras de infiltração aplicadas no modelo para a chuva real e de projeto estão demonstradas na tabela 3.

Observa-se que mesmo com a utilização das trincheiras ainda há uma parcela de água que o dispositivo não consegue armazenar, gerando a lâmina d'água não infiltrada. O modelo considera essa parcela sendo interceptada nas irregularidades do terreno.

Tabela 3 - Desempenho das trincheiras

Chuva real	Bacia	LID	Infiltração no dispositivo (mm)	Evapotranspiração (mm)	Infiltração no solo (mm)	Lâmina d'água não infiltrada (mm)	Armazenamento (mm)
	A1	T6	715,03	1,01	20,49	184,54	509,07
A2	T1	1030,82	0	32,42	0	998,4	
A2	T2	1226,87	0	28,89	129,22	1068,75	
A2	T3	1226,87	0	28,89	129,22	1068,75	
A2	T4	785,77	0	41,5	0	744,26	
A2	T5	1096,17	0	30,41	30,76	1035	
Chuva de projeto	Bacia	LID	Infiltração no dispositivo (mm)	Evapotranspiração (mm)	Infiltração no solo (mm)	Lâmina d'água não infiltrada (mm)	Armazenamento (mm)
	A1	T6	1875,38	0	51,3	1314,08	510
A2	T1	2742,18	0	63,78	1609,65	1068,75	
A2	T2	3264,32	0	61,93	2133,65	1068,75	
A2	T3	3264,32	0	61,93	2133,65	1068,75	
A2	T4	2089,51	0	68,62	952,14	1068,75	
A2	T5	2916,23	0	62,57	1818,66	1035	

O dimensionamento de trincheiras de infiltração pelo método da Curva Envelope se mostrou nesse cenário superdimensionada. Considerando a máxima altura de projeto de 2850 mm para o período de retorno de 2 anos, na simulação do modelo SWMM a altura de lâmina d'água no dispositivo não excedeu 1068 mm, ou seja, o método da Curva Envelope superdimensionou em pouco mais de 60% a maior altura de lâmina d'água para o mesmo período de retorno.

Devido ao modelo não permitir a determinação do posicionamento da técnica LID, os resultados encontrados possuem incertezas, pois estas técnicas variam de acordo com o seu posicionamento no terreno. Além disto, o modelo possui um manual o qual não exemplifica detalhadamente sobre as técnicas LID, elevando a dificuldade da utilização do mesmo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste trabalho, avaliou-se o impacto que as trincheiras de infiltração teriam na redução de inundações no estacionamento do Campus II da Fundação Universidade Regional de Blumenau. Para a utilização do modelo SWMM notou-se falta de informações sobre as aplicações das técnicas LID no modelo, e pelo fato de não ser possível posicioná-las dentro das bacias, gerou-se incertezas quanto aos resultados, pois dependendo do posicionamento da técnica os resultados podem ser diferentes dos encontrados.

Baseando-se nos resultados das simulações, notou-se uma redução na vazão de pico e uma elevação do tempo de pico significativas das bacias, com diminuição de mais de 60% das cheias, e



aumento de 15 a 60 minutos no tempo de pico. Conclui-se então, que a utilização de medidas compensatórias auxiliou na redução dos impactos da urbanização, tanto como um dispositivo infiltrante como para a detenção da água pluvial.

Porém, mesmo com esta redução, apenas a utilização das medidas compensatórias não é capaz de reduzir todos os impactos em que a redução da permeabilidade do solo gera, pois mesmo com a aplicação das trincheiras ainda há uma altura de lamina d'água significativa. Embora entenda-se que esse valor represente possíveis retenções na superfície, não há especificações quanto a isso no modelo.

Nota-se também, através da simulação, que a altura de armazenamento utilizada foi menor que a calculada, desta forma, pode-se concluir que o método de cálculo da Curva envelope é superdimensionada para as trincheiras de infiltração da área de estudo.

Com os dados obtidos nas simulações em conjunto com a viabilidade econômica, nota-se que a aplicação das trincheiras de infiltração no estacionamento do Campus II da FURB, pode ser estudada pela Universidade, para que desta forma a ocorrência de inundações seja reduzida.

## REFERÊNCIAS

ELLIOTT, A. H.; TROWSDALE, S. A. A review of models for low impact urban storm water drainage. **Environmental modelling & software**, v. 22, n. 3, p. 394-405, 2007.

ECKART, K.; MCPHEE, Z.; BOLISSETTI, T. Performance and implementation of low impact development-A review. **The Science of the total environment**, v. 607, p. 413, 2017.

HER, Y.; JEONG, J.; ARNOLD, J; GOSSELINK, L.; GLICK, R.; JABER, F. A new framework for modeling decentralized low impact developments using Soil and Water Assessment Tool. **Environmental Modelling & Software**, v. 96, p. 305-322, 2017.

SILVEIRA, A. L. L.; GOLDENFUM, J. A. Metodologia generalizada para pré-dimensionamento de dispositivos de controle pluvial na fonte. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Florianópolis, v. 12, n. 2, p.157-168, abr. 2007.

XING, W.; LI, P.; CAO, S.; GAN, L.; LIU, F.; ZUO, J. Layout effects and optimization of runoff storage and filtration facilities based on SWMM simulation in a demonstration area. **Water Science and Engineering**, v. 9, n. 2, p. 115-124, 2016.

**AGRADECIMENTOS** as autoras agradecem a Fundação Universidade Regional de Blumenau, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e ao Grupo de Pesquisas do Ribeirão Concórdia (GPCON).