

## RELAÇÃO DA TENSÃO DA ÁGUA NO SOLO COM ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO ANTECEDENTE E PRECIPITAÇÃO ACUMULADA EM PEQUENA BACIA DO BIOMA MATA ATLÂNTICA

*Sofia Melo Vasconcellos*<sup>1\*</sup> & *Aline de Almeida Mota*<sup>2</sup> & *Masato Kobiyama*<sup>3</sup>

**Resumo** - A umidade do solo é amplamente utilizada como uma variável em muitos estudos ambientais e tem muita importância nos processos de troca de energia e água, entre o solo e atmosfera. A umidade do solo pode ser estimada indiretamente através de medidas de tensão da água no solo, realizadas por tensiômetros. Também existem índices que relacionam a chuva antecedente à condição atual de água no solo, como o Índice de Precipitação Antecedente (IPA), e a Precipitação Acumulada (PA). O presente trabalho avaliou o desempenho destes dois índices, para os últimos 7, 10 e 21 dias, como medidas representativas da umidade do solo, comparando-os através de correlações lineares, com dados de tensão da água no solo, obtidos no monitoramento realizado na bacia experimental do rio Araponga, em Santa Catarina. O IPA apresentou correlações moderadas com as medidas de tensão matricial, enquanto a PA dos últimos 7 dias, apresentou correlações fortes com os valores de tensão da água no solo. Portanto, é possível concluir que o comportamento do decaimento da umidade do solo da bacia do rio Araponga não é potencial, e a taxa de decaimento é menor do que aquela resultante do cálculo de IPA.

**Palavras-Chave** – Índice de Precipitação Antecedente, Precipitação Acumulada, Tensão da água no solo

## RELATION OF SOIL WATER TENSION WITH THE ANTECEDENT PRECIPITATION INDEX AND ACCUMULATED PRECIPITATION IN THE ATLANTIC FOREST BIOME

**Abstract** – Soil moisture is widely used as a variable in many environmental studies and is very important in the processes of energy and water exchange between the soil and the atmosphere. Soil moisture can be indirectly estimated through soil water tension measurements performed with tensiometers. There are also indexes that relate the antecedent rainfall to the current soil water condition, such as the Antecedent Precipitation Index (API), and the Accumulated Precipitation (AP). The present work evaluated the performance of these two indices of the last 7, 10 and 21 days, as soil moisture measurements, by comparing them through linear correlations, with soil water tension data, obtained from the monitoring in the Araponga river basin in Santa Catarina state. The API presented moderate correlations with the measures of matric potential, while the AP of the last 7 days showed strong correlations with the soil water tension values. Therefore, it is possible to conclude that the behavior of the soil moisture decay of the Araponga river basin is not exponential, and the decay rate is lower than that resulting from the API calculation.

**Keywords** – Antecedent Precipitation Index, Accumulated Precipitation, Soil Water Tension.

## INTRODUÇÃO

<sup>1</sup> Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: sofia.vasconcellos@ufrgs.br

<sup>2</sup> Professora do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Chapecó. E-mail: aline.mota@uffs.edu.br

<sup>3</sup> Professor do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: masato.kobiyama@ufrgs.br

\* Autor Correspondente

A umidade do solo é amplamente utilizada como uma variável em muitos estudos ambientais e tem muita importância nos processos de troca de energia e água, entre o solo e atmosfera, exercendo influência direta nos processos de infiltração, drenagem, evapotranspiração, escoamento superficial, entre outros (ENTIN *et al.*, 2000). Segundo Saldanha *et al.* (2012), o acompanhamento da umidade do solo permite uma melhor gestão dos recursos hídricos assim como previsão de inundações e secas.

Por muito tempo, o estado hídrico do solo foi expresso e medido à base de quantidade de umidade (gravimétrica ou volumétrica). Entretanto, como as características de retenção de água no solo variam muito, principalmente em função da textura, do conteúdo de matéria orgânica e do estado de agregação, houve a necessidade de expressar a umidade em termos de energia. O conceito de tensão ou sucção de água no solo é muito utilizado, embora cada vez mais se utilize a ideia de potencial de água no solo, que está relacionado ao estado energético da água na planta e na atmosfera (Rossato, 2003). O potencial total de água no solo representa o estado energético da água no solo e resulta de três componentes principais: potencial gravitacional (resultante da ação do campo gravitacional da Terra), potencial de pressão, e potencial matricial (relacionado com as forças mátricas que atuam na água retida no solo; a intensidade destas forças aumenta conforme a quantidade de água retida no solo diminui), (Libardi, 2000).

O potencial matricial, ou tensão matricial da água no solo, também pode ser medido em campo utilizando tensiômetros. Essas medidas podem ser feitas tanto superficialmente quanto em profundidade, para avaliar o estado de tensão do solo e posteriormente sua umidade.

Entretanto, diante da dificuldade para medir e monitorar a tensão da água no solo e o teor de umidade do solo, surgem iniciativas para que esta estimativa seja feita utilizando o Índice de Precipitação Antecedente (IPA), o qual foi formulado por Kohler e Linsley (1951), e é empregado por diversos autores para estimativa da condição inicial de umidade do solo (DURBUDE *et al.*, 2011; SURESHBABU e MISHRA, 2012; SINGH *et al.*, 2015). Além disso, a Precipitação Acumulada (PA) dos últimos dias também pode ser uma medida intuitiva da condição de umidade atual do solo.

Giglio e Kobiyama (2011) avaliaram a relação entre o IPA e a PA com áreas de inundação no município de Rio Negrinho (SC), e demonstraram alta correlação entre a PA e as inundações. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi analisar a relação entre o IPA e a PA com a tensão da água no solo por meio de correlações lineares, buscando avaliar a eficiência destes métodos na representação da umidade do solo para a bacia experimental do rio Araponga no município de Rio Negrinho.

## ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na zona rural do município Rio Negrinho, norte do estado de Santa Catarina, onde foi instalada uma pequena bacia experimental (5,26 ha) no Rio Araponga. Nesta bacia, a declividade média do canal e a densidade de drenagem são  $0,30 \text{ m.m}^{-1}$  e  $9,62 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ , respectivamente.

A bacia experimental do rio Araponga é uma área de preservação ambiental, situada na Fazenda Santa Alice, propriedade da empresa Battistella Florestal, que desenvolve atividade de silvicultura. Foi implementada por Mota (2012), que em seu trabalho investigou o tempo de concentração na bacia, o qual variou entre 1 e 26 horas, e concluiu que o mesmo não estava relacionado à intensidade máxima da chuva, e sim às condições prévias de armazenamento de água no solo (API dos últimos 21 dias).

## METODOLOGIA

### Caracterização da área de estudo

Segundo a classificação de Köppen (1948), o clima da região onde está inserida a área de estudo pertence à classe Cfb. Esta bacia é coberta com a Floresta Ombrófila Mista.

De acordo com Santa Catarina (1986), os solos predominantes na região são os Cambissolos. Também há presença de solos tipo Podzólico Bruno-Acinzentado, de textura média/argilosa.

A Figura 1(a) apresenta o mapa hipsométrico da bacia e também a localização de um pluviômetro, uma estação fluviométrica fluviômetro e 9 baterias de tensiômetros. Todos os dados mencionados foram medidos automaticamente no período de outubro de 2011 a janeiro de 2015, os de chuva e vazão a cada 5 minutos, e os de tensão a cada 10 minutos.

Segundo Mota *et al.* (2017), a instalação dos sensores dos tensiômetros se deu levando em consideração a profundidade e perfil do solo nas vertentes escolhidas para o monitoramento as quais foram: próximo ao rio, no meio da encosta, e próximo ao divisor da bacia. No ponto mais próximo ao rio, a declividade da encosta é mais elevada, com profundidade média do solo de 0,5 m. Na parte central da encosta e no ponto próximo ao divisor de águas, há uma menor declividade, e profundidades variando de 1,0 a 1,9 m.

Por isso foram adotadas duas configurações diferentes (Figura 2). A configuração tipo I, foi utilizada nos pontos mais próximos ao rio (tensiômetros A12, B12 e Z12), e nos demais pontos a configuração utilizada foi a do tipo II (tensiômetros A3, A4, B3, B4, Z3 e Z4). A localização exata de cada tensiômetro pode ser vista na Figura 1 (b).

Os tensiômetros empregados nas medições foram da marca *Irrrometer Watermark*, modelo 200SS. O princípio de medição dos sensores é a resistência elétrica no meio poroso, ou seja, a água é um condutor elétrico que proporciona uma indicação relativa do estado de umidade do solo. À medida que o solo seca, a água é removida do sensor e a medida da resistência aumenta. Por outro lado, quando o solo é irrigado, a resistência diminui. Sua faixa de leitura para relatar a tensão de água no solo é de 0 a 239 kPa.

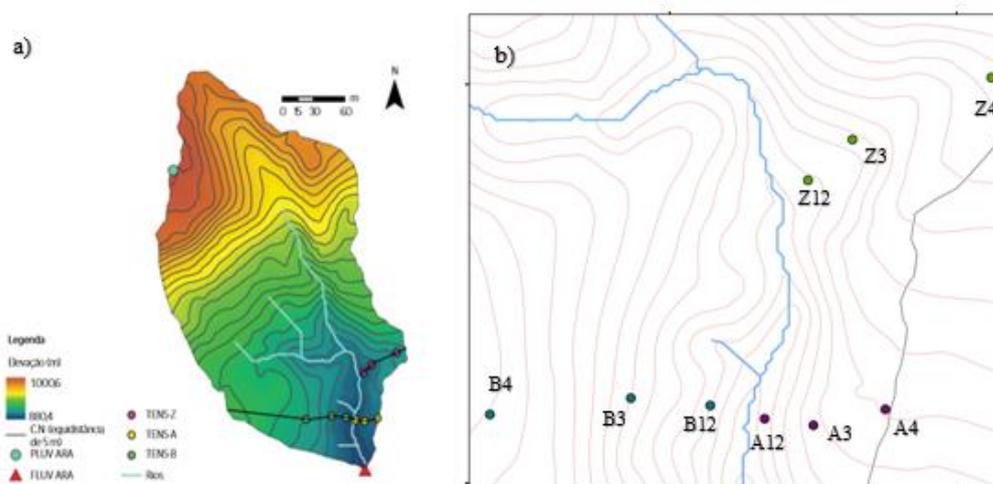


Figura 1. (a) Mapa hipsométrico da bacia experimental do rio Araçuaia e localização dos aparelhos de monitoramento instalados (Fonte: Mota *et al.* 2017), (b) Detalhe na localização dos tensiômetros.

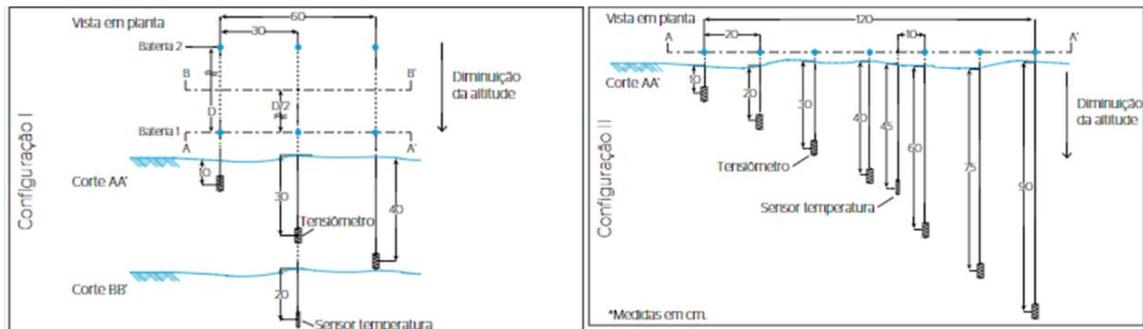


Figura 2. Configuração tipo I e II de tensiômetros (vista em planta e cortes). Fonte: Mota *et al.* (2017).

### Índice de Precipitação Antecedente (IPA) e Precipitação Acumulada (PA)

Neste trabalho foram avaliados dois índices. Quanto ao Índice de Precipitação Antecedente (IPA), existem diversos autores que consideraram diferentes dias antecedentes, por exemplo, Shaw (1964) considerou 6 dias e Giglio e Kobiyama (2011) 7, 10 e 21 dias. O presente também adotou trabalho adotou estes dias como parâmetro de análise, tanto para o IPA quanto para PA, utilizando as equações (1) e (2):

$$IPA = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{i} \quad (1)$$

$$PA = \sum_{i=1}^n P_i \quad (2)$$

onde IPA é o índice de precipitação pluvial antecedente (mm); PA é a precipitação acumulada antecedente (mm);  $P$  refere-se às precipitações, em mm, ocorridas do dia  $i$  (um dia anterior) ao dia  $n$  (7, 10 ou 21 dias anteriores).

Como os dados de tensiometria foram obtidos a cada 10 minutos, os índices IPA e PA foram calculados também neste passo de tempo. Isso foi possível através do acúmulo dos dados de precipitação a cada 10 minutos, totalizando 144 valores diários. Para efeito de cálculo, foram considerados “dias” os 144 dados de chuva antecedentes a cada intervalo de 10 minutos contido no período escolhido para análise.

### Dados analisados

A seleção do período de dados a ser utilizado nas análises levou em consideração as falhas existentes nos dados pluviométricos, e principalmente nos dados medidos pelos sensores de tensão da água no solo. Coelho e Teixeira (2004) observaram em seu trabalho que o tempo de resposta do sensor tende a aumentar conforme o potencial matricial diminui, o que pode levar a medições incoerentes. Flutuações da temperatura também podem explicar as pequenas oscilações nas curvas de medição.

Assim, avaliou-se que os maiores períodos contínuos de dados minimamente consistentes medidos pelos tensiômetros foi cerca de três dias. Então, foi selecionado o período de 14 a 16 de janeiro de 2012, para uma análise preliminar das tensões medidas em relação à precipitação antecedente.

A precipitação média deste período foi  $0,13 \text{ mm} \cdot 10 \text{ min}^{-1}$  e a precipitação total acumulada do período foi 54,9 mm.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação aos primeiros 10 minutos do evento analisado, a precipitação acumulada dos últimos 7 dias foi 22,2 mm, dos últimos 10 dias, 23,63 mm, e dos últimos 21 dias 111,08 mm. O IPA dos últimos 7, 10 e 21 dias, foi 4,57 mm, 4,75 mm e 10, 24 mm, respectivamente.

As medidas de tensão iniciais foram baixas nos sensores localizados em todas as profundidades analisadas. A 75 e 90 cm, todos os sensores mediram a tensão igual a 0 kPa, indicando um estado de saturação do solo nestas profundidades. A 10 cm de profundidade, as medições variaram sensivelmente, mas ainda indicaram baixos valores de tensão. Para os sensores A12 e B12, a tensão da água no solo inicial nesta profundidade foi de cerca de 12 kPa. No sensor Z3 a medida foi 6 kPa, e apenas nos sensores A3 e B3 houve medidas mais altas, próximas a 50 kPa, provavelmente indicando algum *delay* na medição dos sensores das profundidades mais superficiais, o que pode explicar a queda brusca nos valores de tensão observada na Figura 4.

Também pode-se observar que a precipitação ocorrida durante o período foi suficiente para levar o solo a condições de quase completa saturação ao final do evento, com valores de tensão da água no solo bem próximos a zero em todos os sensores.

Para análise da relação entre os índices calculados e as medidas de tensão matricial, foi calculado o coeficiente de correlação (R), que representa a associação linear entre duas variáveis.

Pode-se observar na Tabela 1, que as correlações entre os índices avaliados e as medidas de tensão no solo foram no mínimo, moderadas. Para o tensiômetro B3, com sensor na profundidade 10 cm (B310), houve correlações fortes com todos os índices, sendo a maior delas com a PA dos últimos 10 dias.

Tabela 1. Correlação entre medidas de tensão matricial IPA e PA.

Tensiômetro	API 7d	API 10d	API 21d	PA 7d	PA 10d	PA 21d
A320	-0,52	-0,52	-0,52	-0,48	-0,54	-0,46
A330	-0,61	-0,62	-0,61	-0,62	-0,69	-0,53
A340	-0,57	-0,58	-0,56	-0,58	-0,65	-0,49
B310	-0,81	-0,82	-0,80	-0,89	-0,93	-0,73
B320	-0,82	-0,83	-0,82	-0,87	-0,92	-0,74
Z310	-0,60	-0,61	-0,59	-0,85	-0,85	-0,55
Z320	-0,79	-0,79	-0,78	-0,88	-0,89	-0,71
A110	-0,58	-0,59	-0,58	-0,57	-0,63	-0,53
A130	-0,68	-0,68	-0,68	-0,65	-0,71	-0,60
B130	-0,50	-0,50	-0,50	-0,47	-0,52	-0,44
B140	-0,64	-0,65	-0,64	-0,65	-0,69	-0,57
B210	-0,46	-0,46	-0,44	-0,65	-0,69	-0,57
B230	-0,63	-0,64	-0,64	-0,60	-0,66	-0,57
Z110	-0,80	-0,81	-0,80	-0,86	-0,89	-0,76

Já os dados do sensor do tensiômetro Z3, na profundidade 10 cm (Z310), obtiveram correlações lineares fortes apenas com os índices de precipitação acumulada de 7 e 10 dias antecedentes.

Dados de tensão deste mesmo tensiômetro, com sensor na profundidade 20 cm (B320), também apresentaram correlações fortes com todos os índices. A relação entre os dados deste sensor e a precipitação acumulada dos últimos 10 dias está ilustrada na Figura 3.

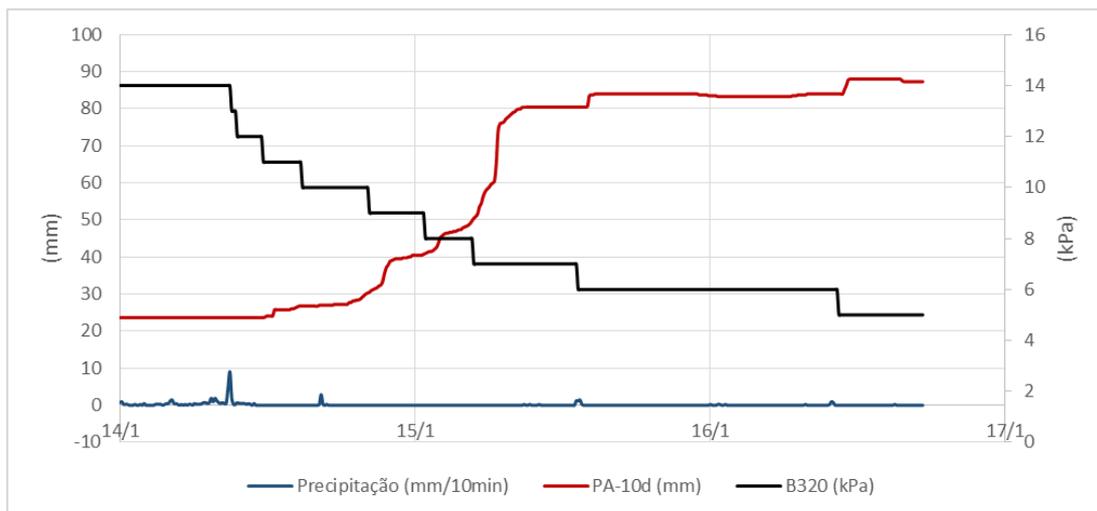


Figura 3. Relação entre PA – 10 dias com tensão matricial.

As correlações mais baixas foram observadas nas leituras do sensor do tensiômetro A3, localizado a 20 cm de profundidade (A320), que obteve no máximo um valor de  $r = -0,54$  com o índice de precipitação antecedente dos últimos 10 dias. Na Figura 4 é possível observar que realmente não houve relação linear entre as duas variáveis.

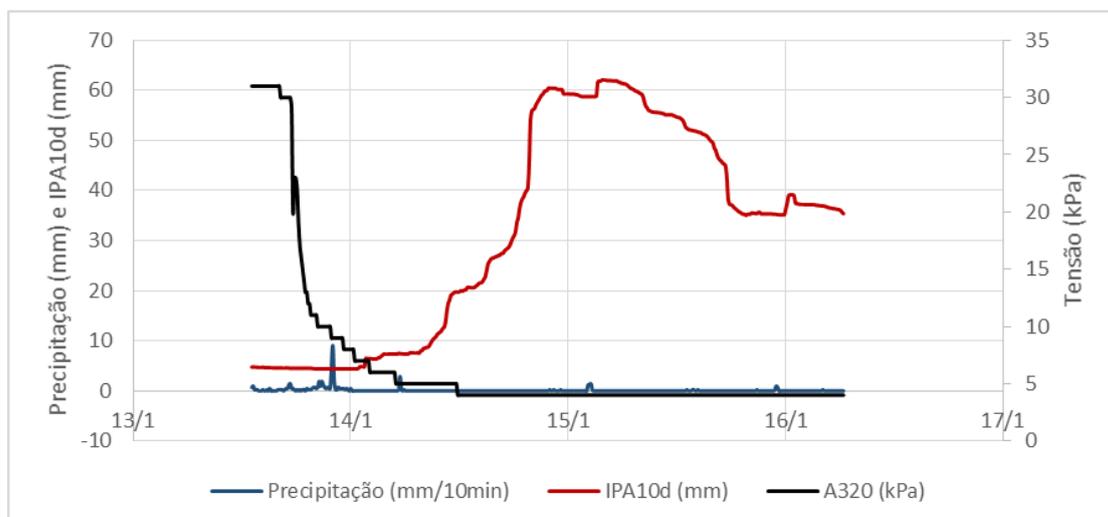


Figura 4. Relação entre IPA- 10d e tensão matricial

De forma geral, os três índices de precipitação antecedente adotados obtiveram correlações moderadas com os valores de tensão da água no solo, embora o IPA dos últimos 10 dias tenha

apresentado desempenho sensivelmente melhor. Os valores de precipitação acumulada apresentaram uma relação linear oposta mais forte com as medidas de tensão, principalmente a precipitação acumulada dos últimos 10 dias.

## CONCLUSÕES

O IPA, calculado para os últimos 7 e 21 dias, apresentou correlações lineares moderadas com os dados medidos de tensão da água no solo, já o IPA dos últimos 10 dias apresentou correlações de moderadas a fortes. A PA dos últimos 21 dias foi a que apresentou correlações mais fracas com os valores de tensão, enquanto a PA dos últimos 10 dias, foi a que apresentou correlações mais fortes quando comparada a todos os sensores, em todas as profundidades analisadas.

Pode-se concluir que, ao menos para este evento em particular, a condição atual de umidade do solo foi mais influenciada pela precipitação acumulada dos 10 dias antecedentes.

Os dois índices analisados (PA e IPA) são calculados a partir da chuva. Porém diferem no ponto em que o IPA é uma média ponderada dos dados de precipitação e o peso atribuído a cada ocorrência de chuva é menor, quanto mais “antigo” for o registro de chuva em relação ao tempo de referência. Já no caso da PA, todas as ocorrências de chuva têm o mesmo peso. Portanto, o fato de a tensão da água no solo não estar significativamente correlacionada ao IPA indica que a retenção de umidade no solo desta bacia não se comporta de acordo com os pesos estabelecidos na Equação 1, ou seja, não tem comportamento de decaimento potencial. Além disso, como os coeficientes de correlação da tensão da água no solo com a PA são maiores, conclui-se que a taxa de decaimento da umidade do solo é baixa.

## REFERÊNCIAS

- COELHO, S. TEIXEIRA, A. (2004). *Avaliação do tensiômetro eletrônico no monitoramento do potencial matricial de água no solo*. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.24, n.3, p.536-545, set./dez.
- DURBUDE, D.G.; JAIN, M.K.; MISHRA, S.K. (2011). *Long-term hydrologic simulation using SCS-CN based improved soil moisture accounting procedure*. Hydrological processes, 25, pp. 561-579.
- ENTIN, J.K. ROBOCK, A.; VINNIKOV, K.Y.; HOLLINGER, S.E.; LIU, S.; NAMKAI, A. (2000). Temporal and spatial scales of observed soil moisture variations in the extratropics. *Journal of Geophysical Research*, v. 105, p. 865-877.
- GIGLIO, J.N.; KOBAYAMA, M. (2011). *Flood areas characteristics in Rio Negrinho city, Southern Brazil*. In: 12th International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre. Proceedings, 2011. 8p.
- KOHLER, M.A.; LINSLEY, R.K. (1951). *Predicting the runoff from storm rainfall*. Weather Bureau Research Papers, 34.
- KÖPPEN, W. (1948). *Climatología con un estudio de los climas de la tierra*. México: FCE.
- LIBARDI, P.L. (2000). *Dinâmica da água no solo*. Piracicaba: O autor. 497 p.
- MOTA, A.A., GRISON, F., GIGLIO, J. N., KOBAYAMA, M. (2017). *Instalação de uma pequena bacia experimental florestal: Estudo de caso da bacia do Rio Araponga*. Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. DOI: 10.1590/S1413-41522016154610.

MOTA, A.A. (2012). *Tempo de concentração em pequena bacia experimental*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. 131p.

RICHARDS, L.A. (1965). *Physical conditions of water in soil*. In: BLACK, C.A., EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; CLARK, F.E. (ed.) *Methods of soil analysis -physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling*. Madison, ASASSSA. p.128-152.

ROSSATO, L. (2003). *Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil*. Dissertação de mestrado. Ministério da Ciencia e Tecnologia, INPE.

SANTA CATARINA. (1986). *Atlas de Santa Catarina*. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Subchefia de Estatística, Geografia e Informática Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 173p.

SINGH, P.K.; MISHRA, S.K.; BERNSTSSON,R.; JAIN.M.K. (2015). *Development of a modified SMA based MSCS-CN model for runoff estimation*. *Water Resources Management*, 1-17.

SURESH BABU,P.; MISHRA,S. (2012). *Improved SCS-CN-Inspired model*. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17, 1164-1172.

SALDANHA, C.; TUCCI, C.; WOOD, E.; LI, H. (2012). *Previsão de longo prazo da umidade do solo no rio Uruguai*. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 17, n. 4, p. 39-47.