



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

## **ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO AÇUDE FORQUILHA – CE PELO MÉTODO SCS-CN**

Nazaré Suziane Soares<sup>(a)</sup>, Juliana Alcântara Costa<sup>(a)</sup>, Carlos Alexandre Gomes Costa<sup>(b)</sup>

<sup>(a)</sup> Discente do Programa de Pós Graduação do Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, soaresns@alu.ufc.br, juliana-alcantara-costa@hotmail.com.

<sup>(b)</sup> Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, costacag@gmail.com.

### **Eixo: Dinâmica e gestão de bacias hidrográficas**

#### **Resumo**

Estimativas de escoamento superficial, através de modelagem hidrológica, são necessárias para ações de manejo adequado de bacias hidrográficas. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivos estimar a vazão em bacias hidrográficas do semiárido brasileiro, por meio do método SCS-CN, comparando-o com dados fluviométricos observados, bem como, estudar a garantia da vazão de uso no reservatório Forquilha, Ceará. Os resultados obtidos pelo método CN foram comparados com valores de vazão medidos (1984-2004) e com valores previstos como vazão afluente média anual no reservatório Forquilha. Os dados de precipitação foram obtidos para os anos de 1983 a 2017. Foi realizado a classificação de uso e ocupação do solo para a obtenção dos valores de CN. A vazão foi superestimada pelo método SCS-CN em relação a vazão observada. A probabilidade de permanência das vazões observadas no período chuvoso é maior do que a das vazões estimadas pelo método SCS-CN.

**Palavras chave:** vazão; garantia de uso; semiárido; modelagem hidrológica.

#### **1. Introdução**

A gestão de bacias hidrográficas depende de inúmeros fatores. Entre eles estão os valores de escoamento superficial, os quais são essenciais no planejamento do uso da água e do gerenciamento da bacia hidrográfica como um todo. A estimativa do escoamento superficial pode ser feita através de modelagem hidrológica, que consiste em técnicas de estudos de sistemas hidrológicos utilizada por hidrólogos e engenheiros no planejamento e desenvolvimentos de uma abordagem integrada no gerenciamento de recursos hídricos (NAGARAJAN; POONGOTHAI, 2011)



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

No entanto, limitações como a complexidade e o número de parâmetros impedem a utilização de modelos mais sofisticado (ARAÚJO NETO et al., 2012). Entre os modelos mais simples para a determinação do escoamento superficial está o método do Número de Curva (CN). O método CN foi desenvolvido pelo Serviço de Conservação de Solos (SCS), nos Estados Unidos, com o propósito de calcular as abstrações de um evento de precipitação (ALMEIDA, 2011).

Nesta estimativa de escoamento superficial considera-se o uso e ocupação do solo. Isso ocorre porque mudanças nesses padrões pode gerar uma série de consequência em uma bacia hidrográfica, principalmente no escoamento superficial (MENEZES, 2010). Em áreas florestadas, por exemplo, ocorre uma diminuição na vazão do escoamento superficial em decorrência do aumento da evapotranspiração (BALBINOT et al., 2009).

O presente estudo teve como objetivos estimar a vazão em bacias hidrográficas do semiárido brasileiro, por meio do método SCS-CN, comparando-o com dados fluviométricos observados, bem como, estudar a garantia da vazão de uso no reservatório Forquilha, Ceará.

## **2. Materiais e Métodos**

Este estudo foi realizado na bacia hidrográfica do açude Forquilha (Figura 1), o qual barra os riachos Oficina e Conceição no município de Forquilha (CEARÁ, 2015). A unidade fitoecológica predominante na área da bacia é caatinga arbustiva aberta (IPECE, 2007). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região estudada é BSw'h', clima quente e semiárido, onde a precipitação média anual é de 747,4 mm (FUNCEME, 2018).

Além da bacia hidrográfica principal, que teve o açude Forquilha como exutório, outra sub-bacia, com exutório no posto fluviométrico Fazenda Bela Vista, foi analisada (Figura 1).



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

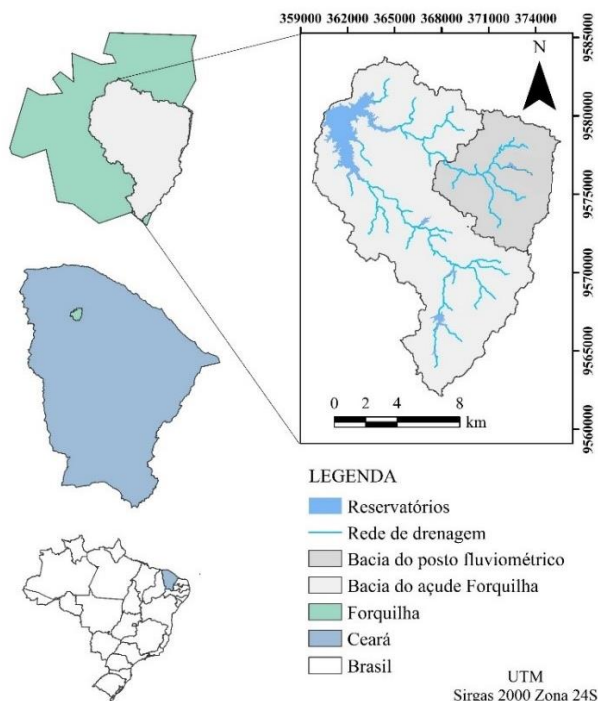


Figura 1 – Localização da bacia e sub-bacias hidrográficas delimitadas.

Fonte: elaborada pelos autores.

## 2.1. Escoamento superficial

Na bacia hidrográfica menor foi feita a comparação dos resultados obtidos pelo método CN com os valores de vazão do posto fluviométrico. Já na bacia do açude Forquilha, os resultados obtidos pela estimativa foram comparados com aqueles valores previstos como vazão afluente média anual no reservatório.

As vazões do posto fluviométrico da Fazenda Bela Vista foram obtidas através do portal HydroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA). A série histórica de vazões estava disponível para o período de 1984 a 2004. O método de medição das vazões foi pela curva de descarga e os resultados foram disponibilizados em  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ . Escolheram-se para o cálculo, as estações chuvosas dos anos de 1985, por ter sido o mais chuvoso de toda a série histórica e os anos de 2002 e 2004, por ter ocorrido chuva um pouco abaixo e um pouco acima da média,



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

respectivamente. Por ser tratar de um rio intermitente, considerou-se como a primeira vazão observada em cada ano como início do período de avaliação.

Pelo método do número de curva (SCS-CN) pode-se estimar a lâmina (volume por unidade de área da bacia) de escoamento superficial a partir de dados de precipitação e outros parâmetros da bacia, como mostrado nas Equações 1, 2 e 3.

$$E = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} \quad (1)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

$$Q_p = \frac{0,0028 \times A \times E}{T_c} \quad (3)$$

Em que E é o escoamento (mm); P é a altura pluviométrica (mm); S é a capacidade máxima de retenção de água pela camada superior do solo no momento em que a chuva se inicia; CN é o número de curva dependente do tipo e uso do solo (adimensional); Q<sub>p</sub> é a vazão de pico (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>); A é a área da bacia (ha); T<sub>c</sub> é o tempo de concentração (h). Assim, destaca-se ainda que se  $P \leq 0,2S$ , a vazão será igual a zero, pois não a chuva não será suficiente para vencer a capacidade de retenção de água pela camada superior do solo.

Para a determinação da altura pluviométrica, utilizou-se uma série histórica de volume acumulado de precipitações diárias compreendida entre os anos de 1983 a 2017 da estação do município de Forquilha (FUNCEME, 2018). Além disso, com os dados das precipitações, foi elaborada uma série histórica anual com dados de precipitações diárias máximas de cada ano e obtida a média ( $\bar{H}$ ) e desvio padrão (SH) dos dados. Em seguida, criou-se uma série sintética de 100 valores utilizando a distribuição normal de Gauss pelo software Excel, a fim de representar melhor as probabilidades de ocorrência das precipitações. Essa série foi utilizada para a estimativa da vazão na bacia do açude Forquilha, sendo gerada, então uma faixa de vazões associadas a certa probabilidade.



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

O CN foi calculado como uma média ponderada de acordo com o uso e ocupação da bacia hidrográfica. Como o método do número de curva considera diferentes grupos hidrológicos de solos para a obtenção do CN, utilizou-se a classificação hidrológica de solos brasileiros feita por Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005), que foi elaborada comparando as características dos solos brasileiros com aquelas dos solos agrupados pelo SCS. Foram utilizadas as informações pedológicas fornecidas pela Embrapa (1973) para a área da bacia hidrográfica do açude Forquilha.

O cálculo do  $T_c$  foi feito utilizando a Equação 4 de Johnstone, desenvolvida com base em dados de bacias com áreas de 65 a 4200 km<sup>2</sup> (ALMEIDA et al., 2013).

$$T_c = 20,17 \cdot \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,5} \quad (4)$$

Em que:  $T_c$  é tempo de concentração em (min);  $S$  é a declividade do talvegue (m m<sup>-1</sup>); e  $L$  é comprimento do talvegue (km).

A fim de estimar a correlação entre os dados medidos e estimados, o índice de concordância foi determinado. Curvas de permanência foram também elaboradas, tanto para os dados medidos como para os valores estimados de vazão.

## 2.2. Uso e ocupação do solo

Para a determinação do uso e ocupação do solo, utilizou-se uma imagem do sensor OLI do satélite LANDSAT 8, obtida de forma gratuita na plataforma do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A data da passagem do satélite foi 01 de agosto de 2016 às 9h53 no horário local. A imagem não apresentava cobertura de nuvens.

Após obtidas as imagens, foi feita a correção atmosférica utilizando o recurso FLAASH no software ENVI classic segundo a rotina adaptada de Nascimento e Sano (2010). Posteriormente à correção atmosférica, ainda com o software ENVI Classic, criou-se regiões de interesse para a determinação de classes de uso e ocupação do solo. A partir dessas classes foi elaborado o mapa de uso e ocupação para as três bacias delimitadas.



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

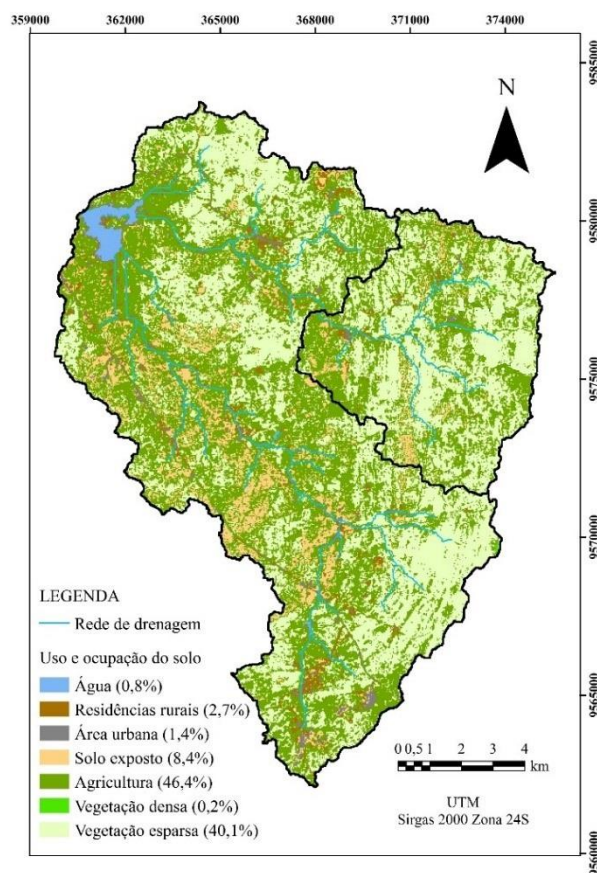


Figura 2 – Mapa de uso e ocupação do solo para as três bacias analisadas nesse estudo. Valores em porcentagem relacionados à bacia principal.

Fonte: elaborada pelos autores.

Em seguida, correlacionou-se as classes criadas com aquelas propostas por Soares et al. (2017) e Araújo Neto et al. (2012) para valores de CN, ponderando os valores para adquirir valores médios para cada uma das bacias (Tabelas I).

Tabela I – Valores de CN ponderados de acordo com as classes de uso e ocupação para a bacia do açude Forquilha e para a bacia com o posto fluviométrico como exutório.

Classes de uso	Bacia do açude Forquilha			Bacia com o posto fluviométrico como exutório		
	Área (km <sup>2</sup> )	CN	CN médio	Área (km <sup>2</sup> )	CN	CN médio
Agricultura	88,3044	81		18,8343	81	
Água	1,5228	100	80,34	0,0036	100	79,10
Urbano	2,5956	92		0,2016	92	



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Rural	5,2146	89	0,6246	89
Vegetação Densa	0,3546	76	0,0864	76
Vegetação Esparsa	76,3767	76	23,3514	76
Solo Exposto	15,9507	91	2,3688	91
Área total	190,3194		47,47	

Fonte: elaborada pelos autores.

### 3. Resultados e discussões

A média histórica da precipitação anual para o município de Forquilha entre os anos de 19784 e 2017 é de  $751 \pm 309$  mm (Figura 3). O ano mais chuvoso do período foi 1985 com uma precipitação de 1578 mm, já o ano mais seco foi 1993, com uma precipitação de 345 mm. Costa e Da Silva (2017), também observaram esses anos estando entre os de eventos de precipitação mais extremos no estado do Ceará. Os autores op. cit. comentam que no ano de 1985 houve uma interação positiva entre La Niña e Dipolo negativo no oceano Atlântico, eventos de anomalia na temperatura da superfície do mar (ATSM) que favorecem a ocorrência de chuvas no Nordeste brasileiro. Já o ano de 1993 estava sob efeito de El Niño, responsável por secas na região.

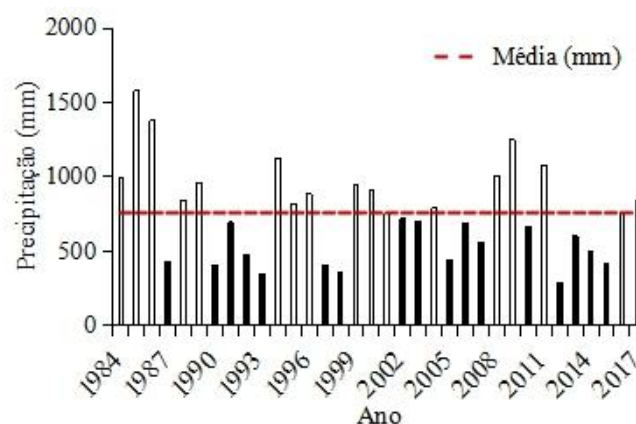


Figura 3 – Precipitação anual em Forquilha no período de 1984 a 2017.

#### 3.1. Bacia do posto fluviométrico

As Figuras 4 a 7 comparam a vazão observada na estação fluviométrica com a vazão calculada pelo método SCS-CN para a bacia que contribui com a drenagem que passa pela estação. Como não existe recarga de base, o riacho Conceição apresenta escoamento apenas



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

no período chuvoso. Observa-se uma grande diferença entre esses valores observados e os estimados (Figuras 5, 6b e 7b). Essa diferença é maior em ordem de grandeza do que em distribuição, posto que os maiores valores de vazão estimados e observados se concentram nos mesmos períodos (Figura 4, 6a e 7a). No entanto, percebe-se que existe um certo atraso nos dados de vazão medidos em relação aos calculados, pois o tempo de concentração retarda a chegada da vazão de pico no exutório. Além disso, o método SCS-CN, da forma como foi utilizado, não considera a condição de umidade inicial do solo antes da precipitação, fator que influencia o tempo para o início do escoamento (abstração inicial).

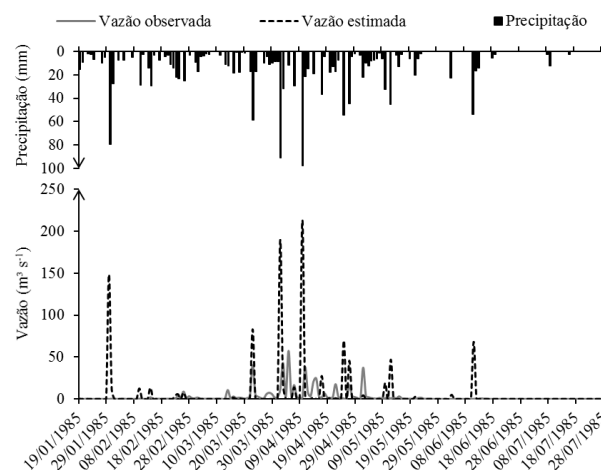


Figura 4 – Comparação entre a vazão observada na estação fluviométrica e a vazão calculada pelo método SCS-CN no período chuvoso de 1985, para a bacia do posto fluviométrico.

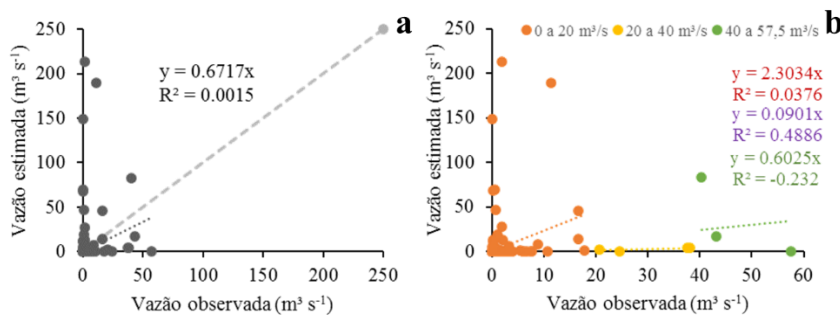


Figura 5 – Índice de concordância entre as vazões observadas e estimadas na bacia do posto fluviométrico para o ano de 1985.





XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Nos anos de 2002 e 2004 as vazões observadas foram bem menores do que as calculadas e esses foram anos de precipitação bem próximos da média (Figuras 6 e 7). Em ambos os anos, percebe-se que em alguns dias mesmo na ocorrência de grande evento de precipitação o escoamento medido foi muito pequeno, como entre os dias 04 e 09/03/2002 e no dia 29/02/2004. Isso pode ser explicado pelo período de veranico que precedeu os eventos chuvosos, chegando a superar um mês sem chuvas em 2002. Todo esse tempo sem precipitação pode ter ocasionado o secamento do solo e aumentado o tempo de abstração inicial.

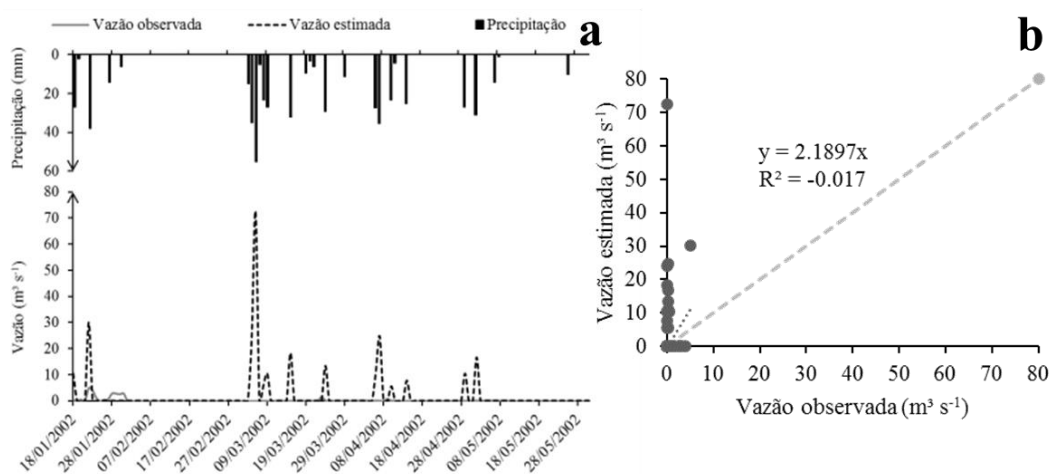


Figura 6 – Em **a**, comparação entre a vazão observadas na estação fluviométrica e a vazão calculada pelo método SCS-CN no período chuvoso de 2002, para a bacia do posto fluviométrico; em **b**, índice de concordância entre as vazões observadas e estimadas na bacia do posto fluviométrico para o ano de 2002.

Mesmo no período chuvoso a probabilidade de ocorrência de eventos de escoamento é mínima, até mesmo no ano de 1985 (Figura 8), em que se observa que a menor vazão estimada  $0,01 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  apresenta a probabilidade de excedência de apenas 18%, enquanto que a menor vazão observada,  $0,04 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  possui uma probabilidade de excedência de 97%. Ou seja, embora o escoamento medido seja em média menor, sua probabilidade de permanência é bem maior do que o calculado, visto que este último existe apenas na ocorrência simultânea de precipitação.



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

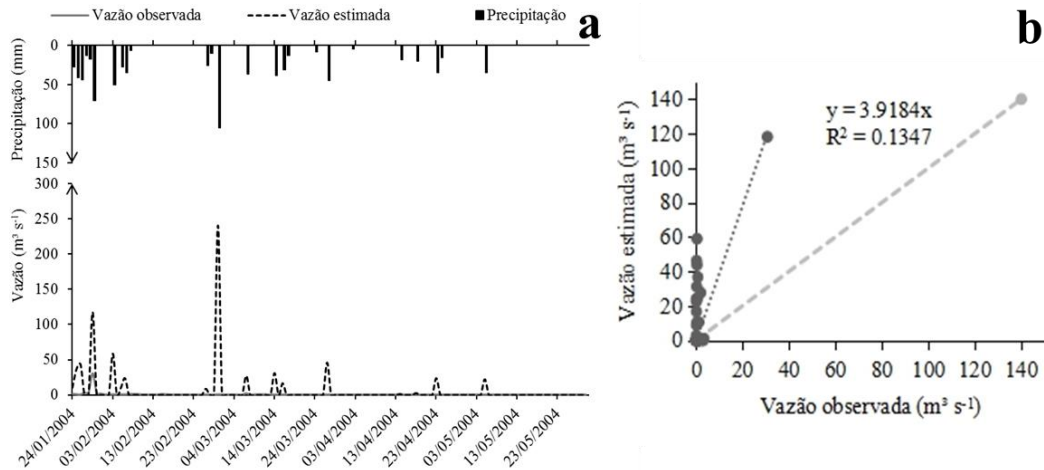


Figura 7 – Em **a**, comparação entre a vazão observada na estação fluviométrica e a vazão calculada pelo método SCS-CN no período chuvoso de 2004, para a bacia do posto fluviométrico; em **b**, índice de concordância entre as vazões observadas e estimadas na bacia do posto fluviométrico para o ano de 2004.

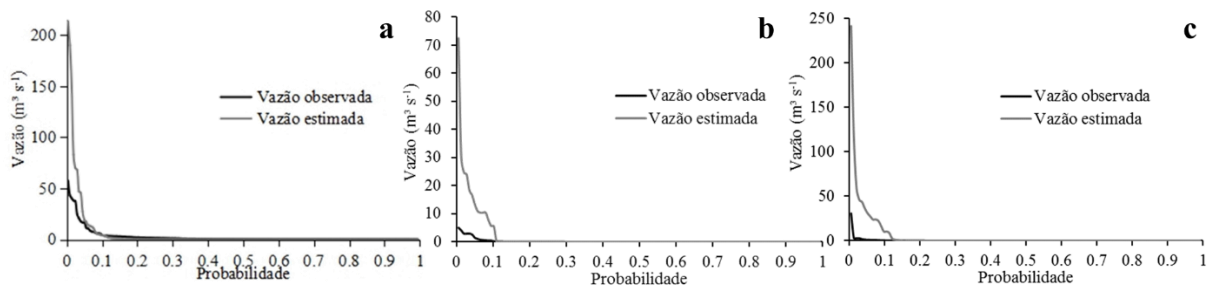


Figura 8 – **a**: Gráfico probabilístico das vazões observadas e estimadas na bacia do posto fluviométrico para o ano de 1985; **b**: Gráfico probabilístico das vazões observadas e estimadas na bacia do posto fluviométrico para o ano de 2002; e **c**: Gráfico probabilístico das vazões observadas e estimadas na bacia do posto fluviométrico para o ano de 2004.

Para os anos de 2002 e 2004, a situação é semelhante a 1985, a permanência de escoamento no exutório é muito maior para os dados observados, com probabilidades de 99% para vazão de  $0,01 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  em 2002 e 2004, enquanto que a probabilidade para os dados calculados foi de 12% para  $0,02 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  em 2002 e 14% para  $0,23 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  em 2004. Lembrando-se que esses dados de vazão exemplificados são os menores dados da série diferentes de zero.



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

### 3.2. Bacia do açude Forquilha

A faixa para vazão estimada para a bacia do açude Forquilha pelo método SCS-CN foi de  $2615 \leq Q \text{ (hm}^3 \text{ ano}^{-1}) \leq 18160$  com probabilidade de 87,4 %. Quando comparada com a vazão afluente média anual no reservatório de  $24,95 \text{ hm}^3 \text{ ano}^{-1}$ , a vazão estimada foi muito superior. Diversos motivos podem ter influenciado a superestimativa da vazão também nessa bacia, assim como na bacia que teve o posto fluviométrico como exutório. Entre eles está a superestimativa do próprio CN ou a subestimativa do tempo de concentração.

### 4. Considerações finais

1. Nas bacias do açude Forquilha e do posto fluviométrico a vazão estimada pelo método SCS-CN foi superestimada em relação a vazão observada.
2. A probabilidade de permanência das vazões observadas no período chuvoso é maior do que a das vazões estimadas pelo método SCS-CN.

### Referências Bibliográficas

ALMEIDA, C. L. **Impacto da recuperação de áreas degradadas sobre as repostas hidrológicas e sedimentológicas em ambiente semiárido**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. 2011.

ALMEIDA, I. *et al.* **Estimativa de Tempo de Concentração em Bacia Hidrográfica**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...** Bento Gonçalves - RS, p. 1 - 8, 2013.

ARAÚJO NETO, J. R. de et al. Otimização do Número de Curva (CN-SCS) para Diferentes Manejos na Região Semiárida, Ceará, Brasil. **Irriga**. Botucatu, Edição Especial, p. 264 - 279, 2012.

BALBINOT, R. et al. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência**, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2009.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos (SRH). **Atlas Eletrônico dos Recursos Hídricos do Ceará**. Fortaleza, SRH, 2015. Disponível em <[http://atlas.srh.ce.gov.br/infra-estrutura/acudes/detalhaCaracteristicasTecnicas.php?cd\\_acude=7&status=1](http://atlas.srh.ce.gov.br/infra-estrutura/acudes/detalhaCaracteristicasTecnicas.php?cd_acude=7&status=1)>. Acesso em: 01.mai.2018.



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

COSTA, J. A.; DA SILVA, D. F. Distribuição espaço-temporal do Índice de anomalia de chuva para o Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.4, p.1002-1013, 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA.  
**Levantamento exploratório:** Reconhecimento de solos do Estado do Ceará. Recife, PE: 1973. 301p.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS -  
FUNCEME. **Calendário das chuvas no estado do Ceará.** Disponível em  
<<http://www.funceme.br/app/calendario/produto/municipios/media/anual?data=2018-1-1>>  
Acesso em: 01.05.2018.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE. Mapas  
temáticos – **Unidades Fitoecológicas.** 2007. Disponível em <  
<http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/125.htm>> Acesso em: 01.05.2018

MENEZES, P. H. B. J. Processo de Escoamento Superficial e Assoreamento na Bacia  
do Lago Paranoá. Dissertação (Mestrado Geociências). Universidade de Brasília, Brasília,  
2010. p. 40-50

NAGARAJAN, N.; POONGOTHAI, S. Spatial mapping of runoff from a watershed using  
SCS-CN method with remote sensing and GIS. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 17, n.  
11, p. 1268-1277, 2011.

NASCIMENTO, E. R. P.; SANO, E. E. Identificação de Cerrado Rupestre por meio de  
imagens multitemporais do Landsat: proposta metodológica. **Sociedade & Natureza**, v. 22, n.  
1, 2010.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação hidrológica de  
solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de  
Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de  
Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 05-18, 2005.

SOARES, M. R. G. de J. et al. Eficiência do método Curve Number de retenção de águas  
pluviais. **Mercator**, Fortaleza, v. 16, 2017.