

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

MUDANÇA NO USO E COBERTURA DO SOLO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO AÇUDE CASTANHÃO

Antonio Duarte Marcos Junior¹ ; Cleiton da Silva Silveira²

Palavras-Chave – Uso e cobertura do solo, escoamento superficial, Castanhão

INTRODUÇÃO

Devido a dinâmica econômica e crescimento populacional as formas de uso e cobertura do solo são alteradas ao longo do tempo. Tal mudança pode causar impactos da fauna, flora e ciclo hidrológico. As atividades antrópicas são capazes de mudar o escoamento superficial (através da impermeabilização do solo ou remoção da vegetação que protege o mesmo), alterar cursos de água e, devido a construção de reservatórios, alterar o volume evaporado de água em uma determinada região. Muitas destas atividades são realizadas sem se considerar os riscos de alterar o curso natural do escoamento superficial (SARTORI *et al.*, 2005b). Diante disto torna-se importante conhecer como o uso de cobertura do solo é alterado com o tempo e quais impactos ele pode causar.

A informação sobre o uso do solo é importante para o estabelecimento de políticas de gestão de uma bacia, visto que traduz a evolução da ocupação de sua superfície e as atividades de preservação (SOARES *et al.*, 2017). Neste trabalho foi proposto a partir dos dados disponibilizados na plataforma MapBiomas, discutir como mudanças no uso e cobertura do solo se relacionam com a infiltração e escoamento superficial, para uma determinada área de estudo.

O cálculo do escoamento superficial é uma atividade complexa que envolve vários fatores, agregados a parâmetros ou variáveis em modelos de chuva-vazão (SARTORI *et al.*, 2005b). Para alcançar o objetivo proposto foi utilizado o método CN (*curve number*) do modelo chuva-vazão desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS) órgão do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA). Este é um modelo largamente utilizado para a estimativa de escoamento superficial em pequenas bacias (SOARES *et al.*, 2017).

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

Este trabalho foi realizado sobre a bacia hidrográfica do açude Castanhão, mostrada na Figura 1. A bacia hidrográfica do açude Castanhão está localizada no sul do estado do Ceará, possui área de 19684 km² e está inserida dentro do bioma da Caatinga. O açude Castanhão está inserido no leito do rio Jaguaribe assim a bacia hidrográfica do Castanhão é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do Jaguaribe. O comprimento do rio principal da bacia é de 425 km. A declividade média na bacia é de 7% com diferença de altitude entre exutório e nascente do rio principal de 828 m. O açude Castanhão foi inaugurado em 2002 é o maior reservatório artificial de

¹) Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, e-mail: duarte.junior@alu.ufc.br

²) Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, e-mail: cleitonsilveira@ufc.br

água doce do estado do Ceará (DENOCS, 2020), e um dos principais reservatórios utilizados para atender a demanda da região metropolitana de Fortaleza.

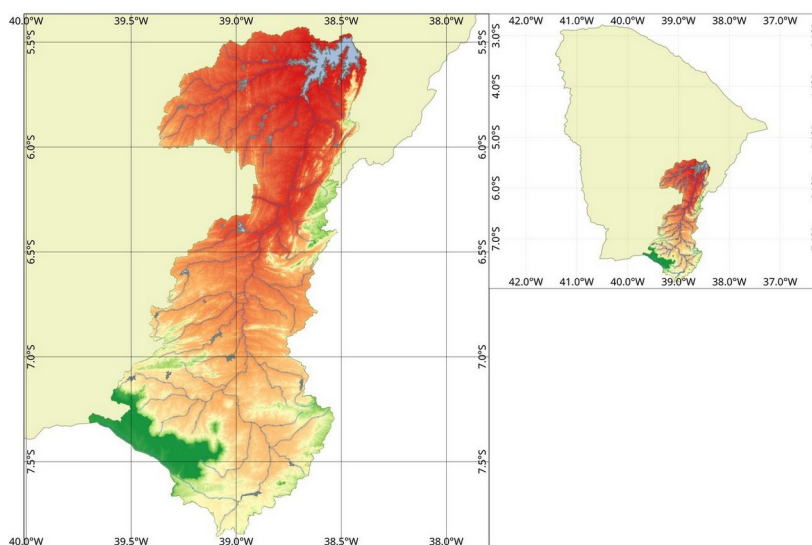


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do açude Castanhão

Dados pluviométricos.

Como dados pluviométricos foram utilizados dados da rede pluviométrica da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme). Os postos foram selecionados de acordo com a disponibilidade e quantidade de falhas. A precipitação média na bacia foi obtida através do método de Thiessen.

Uso de cobertura do solo

Os dados referentes ao uso e cobertura do solo foram obtidos do projeto MapBiomas versão 4.1 uma iniciativa do Observatório do Clima do Brasil. O projeto fornece dados anuais para o período de 1985 até 2018 no formato GeoTiff para todo o território brasileiro. Este projeto existe desde 2015 e têm por objetivo fornecer informações que auxiliem na compreensão da dinâmica do uso e cobertura do solo no Brasil (MAPBIOMAS, 2020). O MapBiomas fornece dados com resolução espacial de 30 m que são obtidos por meio da plataforma *Google Earth Engine*. Projeto MapBiomas é uma iniciativa multi-institucional para gerar mapas anuais de cobertura e uso do solo a partir de processos de classificação automática aplicada a imagens de satélite. A descrição completa do projeto encontra-se em <http://mapbiomas.org>

Classificação hidrológica do solo

Neste trabalho foi utilizado o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) organizado pela Embrapa cuja descrição completa pode ser obtida em <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>. Para a reclassificação do tipo de solos do SiBCS para uso no método SCS foi utilizada a classificação feita por Sartori *et al.* (2005a).

O SCS realizou a classificação hidrológica dos solos de acordo com objetivos: suscetibilidade a erosão e produção de escoamento. A classificação hidrológica do SCS segue a premissa de que os perfis de solo com características semelhantes (espessura, textura, conteúdo de matéria orgânica, estrutura e grau de expansão) responderão de forma semelhante a uma chuva de grande duração e intensidade consideráveis (SARTORI *et al.*, 2005a). Assim o SCS classifica os solos em 4 grupos:

Grupo A: Solos com baixo potencial de escoamento e alta taxa de infiltração uniforme quando completamente molhados, consistindo principalmente de areias ou cascalhos, ambos profundos e excessivamente drenados. Taxa mínima de infiltração: > 7,62 mm/h (TR-55, 1986).

Grupo B: Compreende os solos contendo moderada taxa de infiltração quando completamente molhados, consistindo principalmente de solos moderadamente profundos a profundos, moderadamente a bem drenados, com textura moderadamente fina a moderadamente grossa. Taxa mínima de infiltração: 3,81-7,62 mm/h (TR-55, 1986).

Grupo C: Compreende os solos contendo baixa taxa de infiltração quando completamente molhados, principalmente com camadas que dificultam o movimento da água através das camadas superiores para as inferiores, ou com textura moderadamente fina e baixa taxa de infiltração. Taxa mínima de infiltração: 1,27-3,81 mm/h (TR-55, 1986).

Grupo D: Compreende os solos que possuem alto potencial de escoamento, tendo uma taxa de infiltração muito baixa quando completamente molhados, principalmente solos argilosos com alto potencial de expansão. Pertencem a este grupo, solos com grande permanência de lençol freático elevado, solos com argila dura ou camadas de argila próxima da superfície e solos expansivos agindo como materiais impermeabilizantes próximos da superfície. Taxa mínima de infiltração: < 1,27 mm/h (TR-55, 1986).

Assim, Sartori *et al.* (2005a) dividiu os solos do SiBCS conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação hidrológica para os perfis representativos dos grandes grupos do SiBCS.

Grupo Hidrológico	Nomenclatura utilizada no SiBCS
A	Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho Amarelo, Latossolo Vermelho ambos com textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade; Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho Amarelo, ambos com textura média, mas com horizonte superficial não arenoso.
B	Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho Amarelo, ambos com textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; Latossolo Bruno; Nitossolo Vermelho; Neossolo Quartzarênico; Argissolo Vermelho ou Vermelho Amarelo de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.
C	Argissolo pouco profundo, mas não apresentando mudança textural abrupta ou Argissolo Vermelho, Argissolo Vermelho Amarelo e Argissolo Amarelo, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta; Cambissolo de textura média e Cambissolo Háplico ou Húmico, mas com características físicas semelhantes aos Latossolos (latossólico); Espodossolo Ferrocárbico; Neossolo Flúvico.
D	Neossolo Litólico; Organossolo; Gleissolo; Chernossolo; Planossolo; Vertissolo; Alissolo; Luvisso; Plintossolo; Solos de Mangue; Afloramentos de Rocha; demais Cambissolos que não se enquadram no Grupo C; Argissolo Vermelho Amarelo e Argissolo Amarelo, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.

Escoamento superficial pelo método de SCS

A estimativa do escoamento superficial foi realizado através da metodologia do SCS que uma metodologia para estimativa do excesso de chuva aplicado principalmente na ausência de dados hidrológicos (HJELMFELT, 1991; SOIL CONSERVATION SERVICE, 1972).

O método do SCS é um modelo empírico que permite estimar o volume e a distribuição do escoamento superficial. Pode-se dizer que o modelo é subdividido em duas partes: a) estimativa de chuva excedente; b) cálculo do hidrograma de escoamento superficial. A chuva excedente é determinada pela equação (SCS, 1972):

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \text{ para } P > 0,2S \quad (1)$$

Sendo Q o volume do escoamento superficial ou Chuva excedente (mm), P a precipitação (mm) e S o potencial de retenção (mm). O termo 0,2.S é a abstração inicial, ou seja, as perdas iniciais por interceptação, infiltração e retenção superficial.

O parâmetro S é estimado em função do número da curva de escoamento superficial (CN) através da equação:

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

O valor de CN é tabelado e a tabela original do SCS é ampla a apresenta uma grande quantidade de combinações. Esta quantidade de possibilidades foi restrita em função da capacidade de se mapear a cobertura usando imagens de satélite (RAGAN e KACKSON, 1980). Com base nessa limitação Soares *et al.* (2017) propôs os valores mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Número da curva CN do SCS simplificado.

Uso do solo	Grupo hidrológico do solo			
	A	B	C	D
Agricultura	62	71	78	81
Corpos d'água	100	100	100	100
Pastagem	25	59	75	83
Florestas naturais e/ou silvicultura	36	60	70	76
Áreas urbanas	77	85	90	92

Para o cálculo do escoamento superficial foi utilizado o valor médio de CN na bacia.

Hidrograma Unitário Sintético

Após extensa análise de dados observados em várias pequenas bacias hidrográficas de diversas partes dos Estados Unidos definiu, a partir do hidrograma unitário médio que melhor representou os hidrogramas unitários obtidos para as diversas bacias hidrográficas estudadas, o hidrograma unitário adimensional utilizado pelo modelo.

O SCS (SCS, 1957) apresentou um método para determinação do hidrograma unitário em que o mesmo é considerado um triângulo:

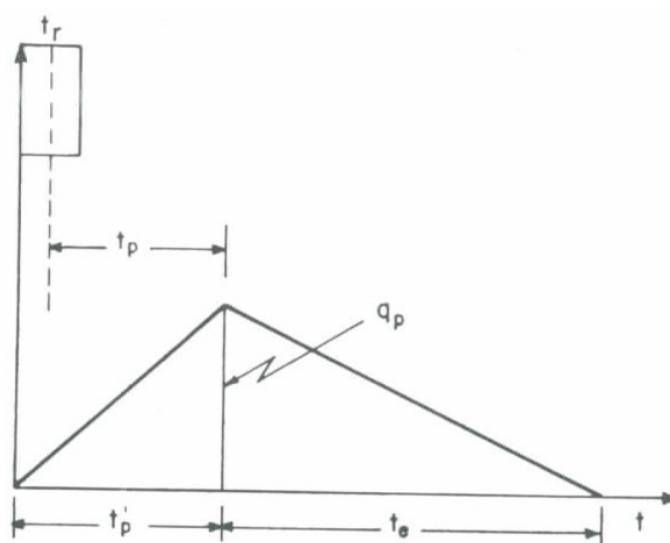


Figura 2 – Hidrograma Triangular SCS. Fonte: Tucci, 2012.

O índices mostrados na Figura 2 são calculados pela sequência de equações (TUCCI, 2012):

$$t_e = H t'_p \quad (3)$$

$$q_p = 2,08 \frac{A}{t'_p} \quad (4)$$

$$t'_p = \frac{t_r}{2} + 0,6 t_e \quad (5)$$

$$t_p = \frac{2,6 L^{0,8} (S/25,4 + 1)^{0,7}}{1900 y^{0,5}} \quad (6)$$

L – comprimento do rio principal (m);

y = declividade média do talvegue (em unidades absolutas)

S = capacidade de armazenamento da camada superior do solo (mm)

H = constante igual a 1,67

RESULTADOS

Uso e cobertura do solo

As mudanças no uso e cobertura do solo são mostrados na Figura 3 (mais detalhes estão disponíveis no Anexo A). Especialmente as mudanças mais significativas ocorrem ao norte e ao sul da bacia. Ao norte percebe-se ao aumento da área de pastagem e de corpos d'água. O aumento do volume de água na bacia é devido principalmente a construção do açude Castanhão, inaugurado em 2002. O aumento percentual de água, em relação a 1985, na bacia foi de aproximadamente 43%. No ano de 2005, um dos anos mais chuvosos no período, conforme Anexo A, 2% da bacia estava coberta por corpos d'água o que representa um aumento percentual de aproximadamente 185% em relação ao observado em 1985. Ao sul da bacia é visível o aumento de áreas de agricultura (municípios: Brejo Santo, Mauriti, Milagres, Penaforte, Abaiara) e urbana (municípios:

Crato, Juazeiro do Norte, e Barbalha). Segundo o Denocs (2020) está localizado em Meuriti o perímetro irrigado de Quixabinha, o que pode também ter influenciado no desenvolvimento da agricultura dos municípios do entorno.

Houve, no período, redução da área florestada natural sendo que a formação savânica, característica da região, a que houve maior redução. A perda de vegetação natural deu espaço principalmente para a atividade agropecuária que passou de 29% de cobertura para cerca de 39%. Dentro da atividade agropecuária a atividade com aumento mais expressivo foi a agricultura, embora ainda tenha menor participação que a pecuária, passando de menos de 1% de cobertura para cerca de 5%. O desenvolvimento da agricultura na região deve-se, em grande parte, ao aumento de reservatórios d'água na região e a construção de perímetros irrigados. Contudo o desenvolvimento destas atividades não é linear, como se pode ver no Anexo A, condições climáticas, como seca, também afetam no desenvolvimento destas atividades na região.

Legenda

Formação Florestal	Formação Campestre	Mosaico de Agricultura e Pastagem	Mineração
Formação Savânica	Outra Formação Natural não Florestal	Praia e Duna	Aquicultura
Mangue	Pastagem	Infraestrutura Urbana	Apicum
Floresta Plantada	Agricultura	Outra Área não Vegetada	Rio Lago e Oceano
Área Úmida Natural não Florestal	Cultura Anual e Perene	Não observado	
	Cultura Semi-Perene	Afloramento Rochoso	

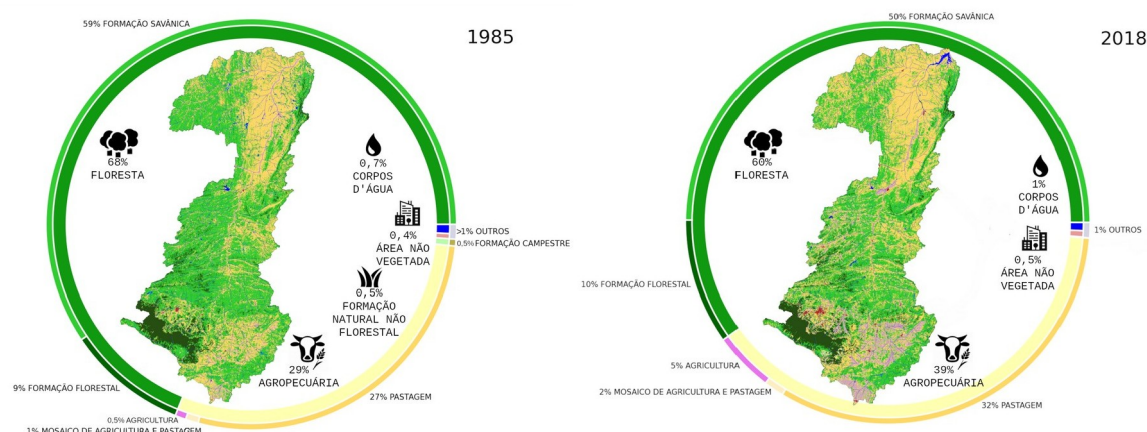


Figura 3 – Evolução do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Castanhão em 1985 e 2018.

Ao longo do tempo o uso e cobertura do solo muda devido a fatores naturais e antrópicos na Figura 4 é mostrado como os principais usos e cobertura do solo, na bacia hidrográfica do Castanhão, evoluíram ao longo da série disponível. Em termos absolutos a vegetação nativa da região perdeu 0,19 Mha que representa 14% do total observado em 1985. Segundo o portal MapBiomas a perda da vegetação nativa da Caatinga (bioma onde está inserida a bacia hidrográfica do Castanhão) foi de 13 % no mesmo período. Isto mostra que a região de estudo, quanto a perda vegetação nativa, segue a tendência do bioma onde está inserida. A área de pastagem teve aumento de 19% (0,1 Mha) e a de agricultura de 350% (0,07 Mha), isto mostra que atividade agropecuária está em pleno desenvolvimento da região. Entre os anos de 2003 e 2007 é visível um aumento da área ocupada por pastagem na região, dentro da série em estudo estes são os anos com maiores totais pluviométricos, seguido de redução da área de pastagem, anos de seca na região. Fica claro que a evolução do uso antrópico da região é dependente das condições climáticas da mesma.

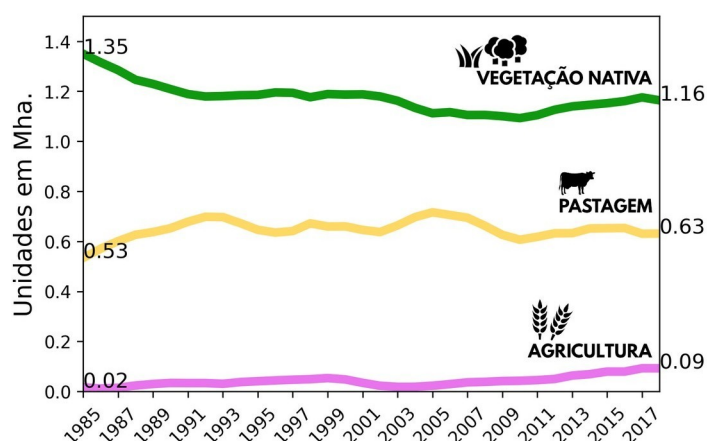


Figura 4 – Evolução dos principais usos e cobertura do solo

Escoamento superficial

Para a estimativa do escoamento superficial além da informação sobre uso e cobertura do solo também é necessária a informação sobre o tipo de solo da região. Esta informação é fornecida pela Embrapa que fornece o mapa de solos do brasileiro, a Figura 5 mostra da classificação dos solos na região segundo o sistema brasileiro. Observa-se a predominância de solos do tipo Argilossolo e Latossolo na região.

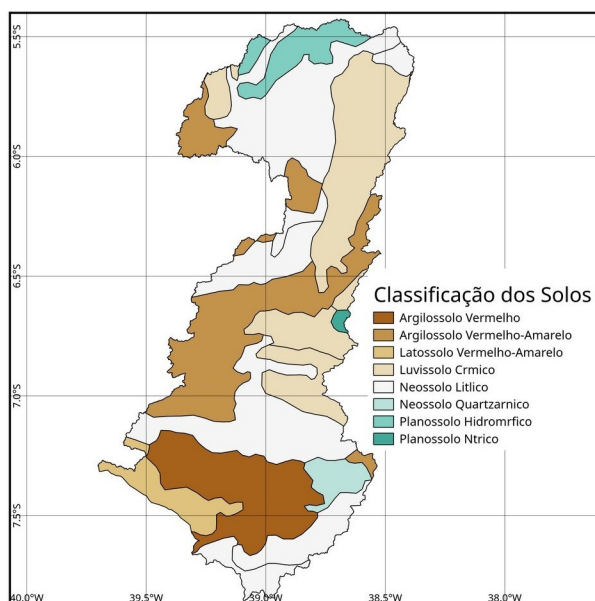


Figura 5 – Classificação dos solos segundo sistema brasileiro de classificação de solos. Fonte: Embrapa, 2020.

Com posse dos dados de classificação de solos do SiBCS foi feita a reclassificação dos mesmos para a classificação hidrológica do SCS. Esta reclassificação foi feita de acordo com o apresentado por Sartori *et al.* (2005a) e mostrado na Figura 6. Nesta nova classificação o solo de maior abrangência na região é o de tipo D, que são solos rasos com taxa de infiltração baixa.; O segundo mais abrangente é o tipo B, solos profundos e com taxa de infiltração moderada. Esta classificação mostra-se condizente com as características da bacia.

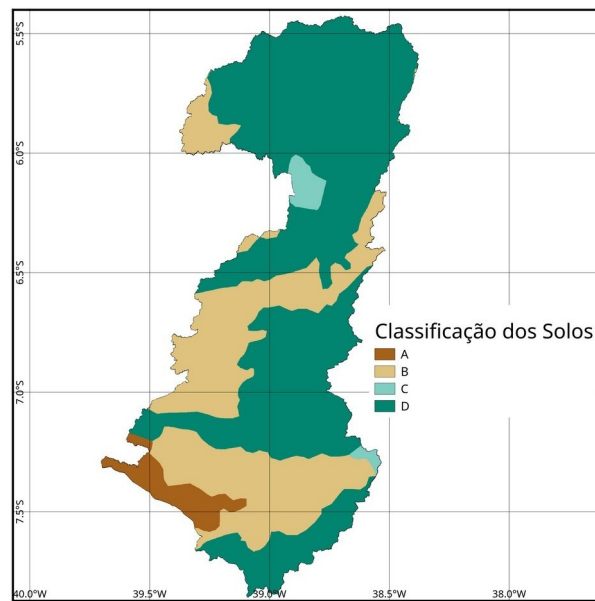


Figura 6 – Classificação Hidrológica dos solos.

De posse destes dados foi possível estimar então o valor de CN para a região. Para efeito de comparação é mostrado o valor de CN para a região nos anos de 1985 e 2018. Apenas no sul da região é observada a mudança mais nítida do valor de CN. As mudanças, mais significativas, ocorrem principalmente na região com aumento da atividade agrícola (sul da bacia), conforme visto na Figura 3, com aumento do CN e nas regiões urbanizadas com diminuição do valor de CN. A pouca alteração no restante da bacia mostra que o parâmetro de CN é mais dependente das características físicas do solo do que sua cobertura.

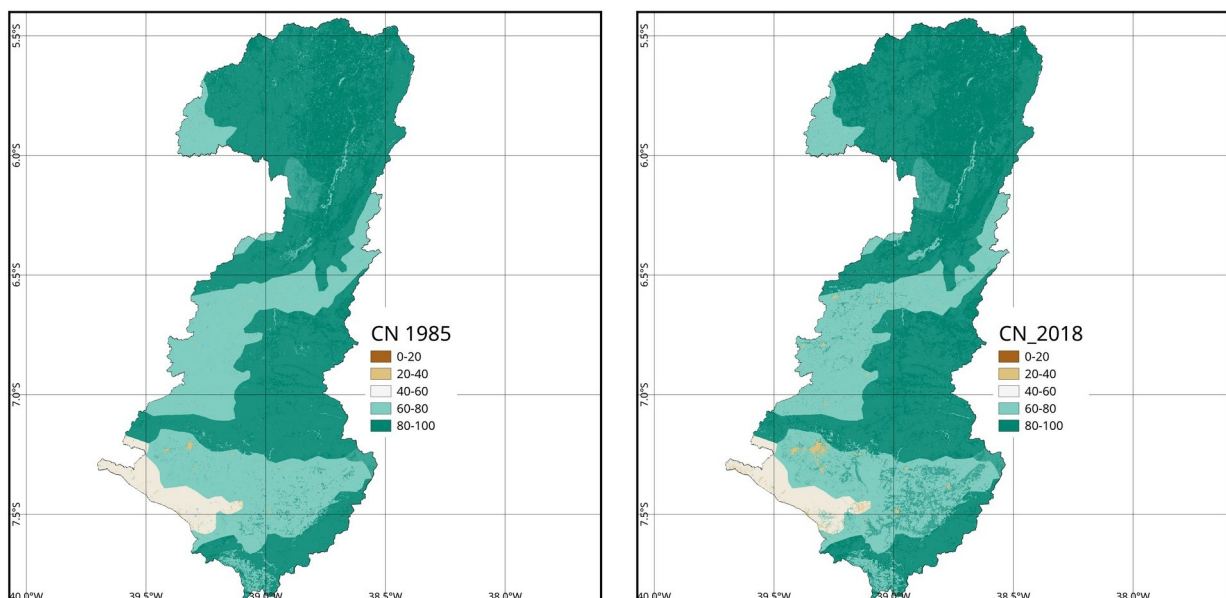


Figura 7 – Mudança no valor de CN.

Com os valores de CN é calculado o parâmetro S, que representa o potencial máximo de retenção de água no solo, cuja evolução média na bacia é mostrada na Figura 8. Observa-se que existe uma baixa variação do parâmetro S, ao longo da série em estudo, com variação de apenas

2% entre o fim e início da série. Este parâmetro mostra-se bastante dependente da porcentagem de corpos d'água na região. Durante os anos de 2004 a 2008 é observada a diminuição do valor de S, coincidindo com o período de maiores totais pluviométricos dentro do período analisado. A partir de 2013 também é vista outra redução do valor de S, durante este período devido a seca que atingiu a região foi incentivado a criação de microaçudagem na região, o que aparenta ter influenciado no valor de S já que promoveu o aumento de corpos d'água na região. Contudo é importante destacar que esta variação no valor de S é muito pequena e para efeitos práticos pode-se considerá-la constante.

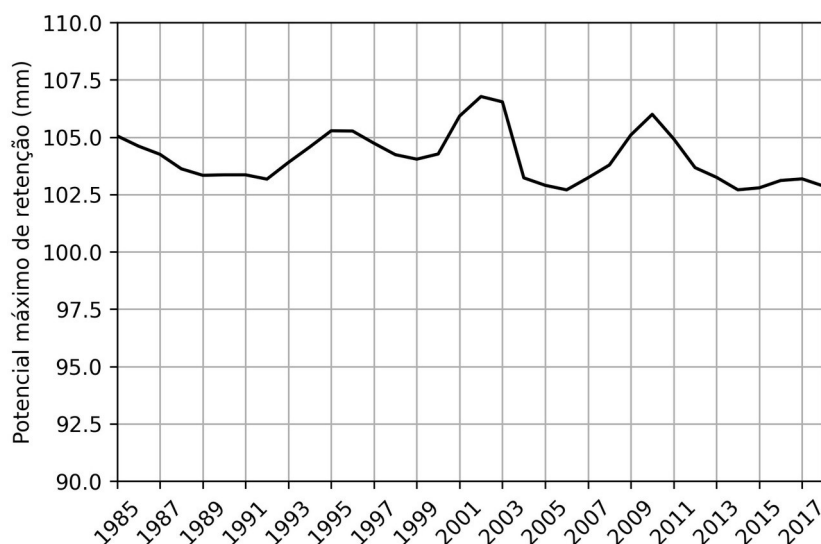


Figura 8 – Série temporal do parâmetro S médio na bacia.

Considerando-se o valor médio de CN e S na bacia foi calculado o escoamento superficial médio na bacia conforme mostrado na Figura 9. Na Figura 9 é mostrado o hidrograma mensal da região, que agrega valores precipitados e escoamento superficial médio. O método utilizado para geração de escoamento superficial consegue captar bem a sazonalidade existente na série de precipitação, característica marcante da região. No período mais chuvosos é observado o aumento do escoamento superficial médio da bacia com picos de precipitação e escoamento ocorrendo em 2004 e 2008. A redução do escoamento superficial no final da série mostra-se ser mais dependente do regime pluviométrico do que de mudanças no uso e cobertura do solo.

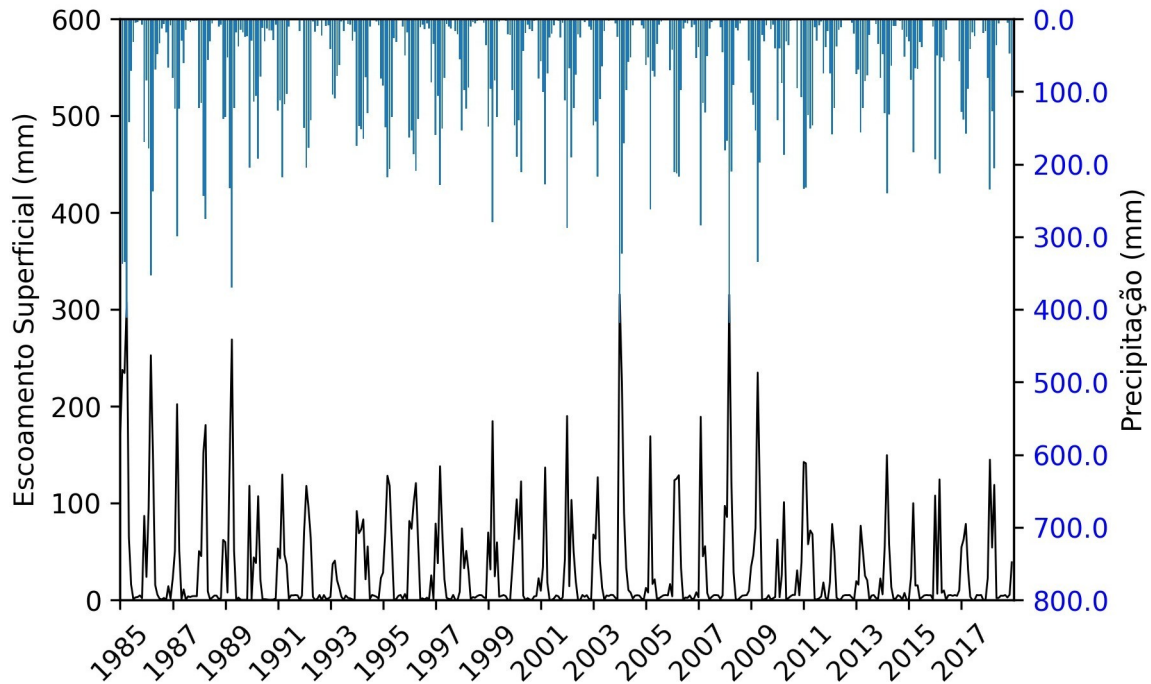


Figura 9 – Hidrograma do escoamento superficial simulado e hietograma da precipitação média observada.

Considerando-se a baixa variabilidade do parâmetro S, para a construção do hidrograma unitário sintético foi utilizado o S médio de 105, este valor foi calculado utilizando-se a média de S para o ano de 2018. O hidrograma foi construído para a chuva de 1 cm com duração de $\frac{1}{4}$ de hora mostrado na Figura 10. Os resultados podem não representar adequadamente o comportamento do escoamento superficial na bacia pois, o método do SCS foi desenvolvido para bacias de pequeno porte (até 10 km²) seu uso em grandes bacias não é o recomendado. Com tempo de pico de 20 h e tempo de recessão de 32 h a bacia não apresenta características de estar suscetível a enchentes, contudo análise da rede de drenagem é necessária ser realizada. A bacia apresentou um tempo de base de 51 h, pouco mais de 2 dias, um período de tempo relativamente curto mostrando que a bacia tem dificuldades de reter os volumes precipitados na mesma, característica de uma bacia do regime fluviométrico intermitente.

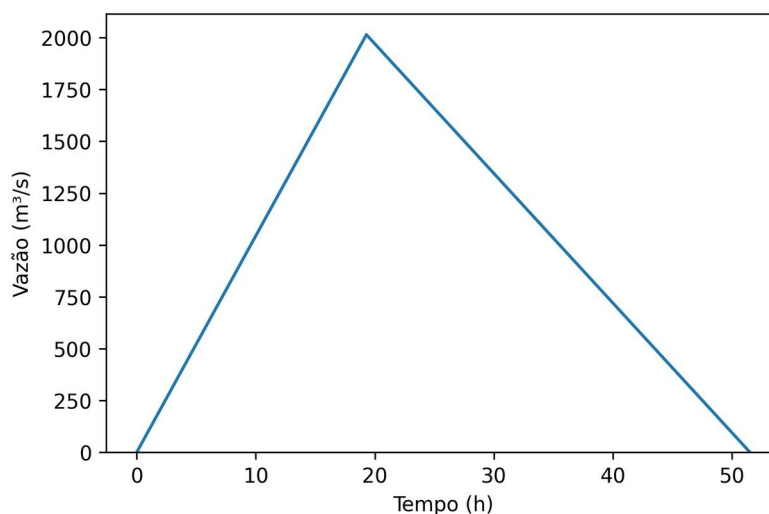


Figura 10 - Hidrograma Unitário Sintético do SCS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As atividades antrópicas são capazes de mudar significativamente a paisagem natural. Muitas vezes estas modificações, no que se refere ao ciclo hidrológico, são feitas sem se verificar os riscos que elas podem causar. O conhecimento da dinâmica do ciclo hidrológico e alterações no solo é fundamental para o planejamento estratégico e gerenciamento de risco. Certas mudanças trazem benefícios, como a construção de reservatórios que proporciona o desenvolvimento da agricultura e garantia de abastecimento humano, mas devem ser feitas com responsabilidade, para se evitar riscos desnecessários. As mudanças no solo ocorridas na bacia em estudo deveu-se principalmente ao aumento da atividade agropecuária e aumento do volume de água em reservatórios. Mesmo com significativas mudanças na cobertura do solo esta mudança não apresentou grandes impactos nos parâmetros médios utilizados para a estimativa de escoamento superficial. Entretanto, deve-se considerar que possa ter ocorrido mudanças significativas no escoamento superficial em certas regiões, em especial as que tiveram grande desenvolvimento urbano.

REFERÊNCIAS

- DENOCs. Departamento de Nacional de Obras Contra a Seca. Disponível em: <https://www.dnocs.gov.br>. Acessado em: 14 de maio de 2020.
- HJELMFELT, A. T. Investigation of Curve Number Procedure. **Journal of Hydraulic Engineering**. v. 117, p. 725-737, n. 6, 1991.
- MapBiomass. Projeto MapBiomass – Coleção 4.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Acessado em 14 de maio de 2020 através do link: <https://mapbiomas.org>
- RAGAN, R. M.; TJACKSON. Runoff Synthesis Using Landsat and SCS Model. **Journal of Hydrology**. ASCE, v. 106, p. 667-678. 1980.
- SARTORI, A.; NETO, F. L.; GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **RBRH**. v. 10. n. 4, p. 5-18, 2005a.
- SARTORI, A.; NETO, F. L.; GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 2: Aplicação. **RBRH**. v. 10. n. 4, p. 19-29, 2005b.
- SOARES, M. R. G. J.; FIORI, C. O.; SILVEIRA, C. T.; KAVISKI, E. Eficiência do Método Curve Number de Retenção de Águas Pluviais. **Mercator**. v. 16, e. 16001, 2017.
- SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS). National Engineering Handbook. Section 4. Hydrology. 1972.
- TECHINICAL RELEASE 55 (TR-55). Urban Hydrology of Small Watersheds. USDA, NRCS, 1986.
- TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. **ABRH**. ed. 4, pp. 944, 2012.