

Análise do escoamento superficial no município de Marabá-PA através do Método Soil Conservation Service

Analysis of surface runoff in the municipality of Marabá-PA using the Soil Conservation Service Method

Paulo Eduardo Silva Bezerra¹

Francisco Carlos Lira Pessoa²

David Figueiredo Ferreira Filho³

Lorena Conceição Paiva de Ataide⁴

Resumo

O escoamento superficial corresponde ao deslocamento da água precipitada sobre o solo, caracterizado pela não infiltração devido à impermeabilização da área urbanizada, podendo levar ao aumento no risco de inundações. Desta forma, esta pesquisa analisou o escoamento superficial diante da sazonalidade da precipitação no município de Marabá – PA. Para isso, o método utilizado foi o desenvolvido pelo Natural Resource Conservation Services (NRCS), sendo representado pelo Curva Number (CN), este admite as variáveis do uso, cobertura do solo e pedologia para avaliar a variabilidade do escoamento. Os resultados obtidos demonstram que as classes de concreto e asfalto apresentaram as maiores taxas de escoamento superficial, com aproximadamente 98% em solos de tipo B (Latossolo) e C (Argilossolo), enquanto as classes de vegetação e grama obtiveram as menores taxas de escoamento com 70% e 60%, respectivamente. Conclui-se que no decorrer dos anos houve uma redução das áreas permeáveis, e consequentemente um acréscimo do índice de escoamento superficial e alagamentos, portanto, o trabalho pode contribuir para o planejamento urbano, sendo uma ferramenta de gestão ambiental e tomadas de decisões.

Palavras-Chave: NRCS; Geoprocessamento; Curver Number; Uso e Cobertura do Solo.

Abstract

Surface runoff corresponds to the movement of precipitated water over the ground, characterized by non-infiltration due to the sealing of the urbanized area, which can lead to an increased risk of

1 Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará (UFPA). pauloeduardoea@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5424-6012>

2 Docente da Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará (UFPA). fclpessoa@ufpa.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6496-9043>

3 Discente de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará (UFPA). davydferreira@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0933-0351>

4 Discente de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará (UFPA). lorenaataide07@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2022-6798>

flooding. In this way, this research analyzed surface runoff in the face of seasonal rainfall in the municipality of Marabá - PA. The method used was that developed by the Natural Resources Conservation Services (NRCS), represented by the Curve Number (CN), which takes into account the variables of land use, land cover and pedology to assess the variability of runoff. The results obtained show that the concrete and asphalt classes had the highest runoff rates, with approximately 98% in type B (Latosol) and C (Argiloso) soils, while the vegetation and grass classes had the lowest runoff rates with 70% and 60%, respectively. It can be concluded that over the years there has been a reduction in permeable areas, and consequently an increase in the rate of surface runoff and flooding, so the work can contribute to urban planning, being a tool for environmental management and decision-making.

Keywords: NRCS; Geoprocessing; Curver Number; Land Use and Cover

Introdução

O escoamento superficial é um dos componentes do ciclo hidrológico, que corresponde ao deslocamento da água precipitada sobre o solo, direcionando-a para um rio. Fatores climáticos (intensidade e duração da chuva), fisiográficos (topografia, área e forma da bacia) e de uso e cobertura do solo (cobertura vegetal e permeabilidade do solo) têm impacto direto no escoamento (TUCCI; BERTONI, 2003; ALENCAR et al., 2006; MIGUEL; RENNÓ, 2020).

Nesse sentido, Chen et al. (2017) cita que o desenvolvimento urbano é essencial porque proporciona conveniência de infraestrutura, bens e serviços necessários às pessoas. Porém, traz consigo alterações da superfície natural do solo, reduzindo a área de infiltração das águas pluviais e ocasionando um aumento do volume de escoado. De acordo com Suriya e Mudgal (2012) a redução da infiltração leva a maiores picos de vazão, mesmo para chuvas de curta duração e baixa intensidade, e aumenta o risco de inundações.

Além disso, o escoamento pode gerar graves danos ambientais, como processos erosivos (LAGADEC et al., 2016). Segundo Biddoccu et al. (2016) a erosão do solo é uma das principais causas de degradação, pois remove a camada superficial do solo, juntamente com a matéria orgânica e outros nutrientes contidos nela.

Todavia, no Brasil, existe uma grande escassez em relação a estudos e registros de dados para monitorar com precisão o regime pluviométrico e, sobretudo, a frequência dos eventos de

inundações e enchentes sobre uma determinada região (FAN; RAMOS; COLLISCHONN, 2015). Diante dessas problemáticas, Tosta et al. (2012) enfatiza que é necessário estudos detalhados que auxiliem a compreender o regime hidrológico ocasionado pelo adensamento urbano.

Uma forma de estimar o escoamento superficial é através do método do Natural Resource Conservation Services (NRCS), o qual utiliza como base uma equação os valores de Curva Number (CN), desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA) diante da necessidade de obter dados hidrológicos para estimar o escoamento e a capacidade de armazenamento de água no solo em bacias hidrográficas (CARVALHO, 2018; SOARES et al., 2014). Conforme Beven (2012), o modelo NRCS apresenta algumas vantagens: é consistente; computacionalmente eficiente; os dados de entrada necessários são geralmente disponíveis e relaciona o escoamento superficial com o tipo, o uso e a cobertura do solo.

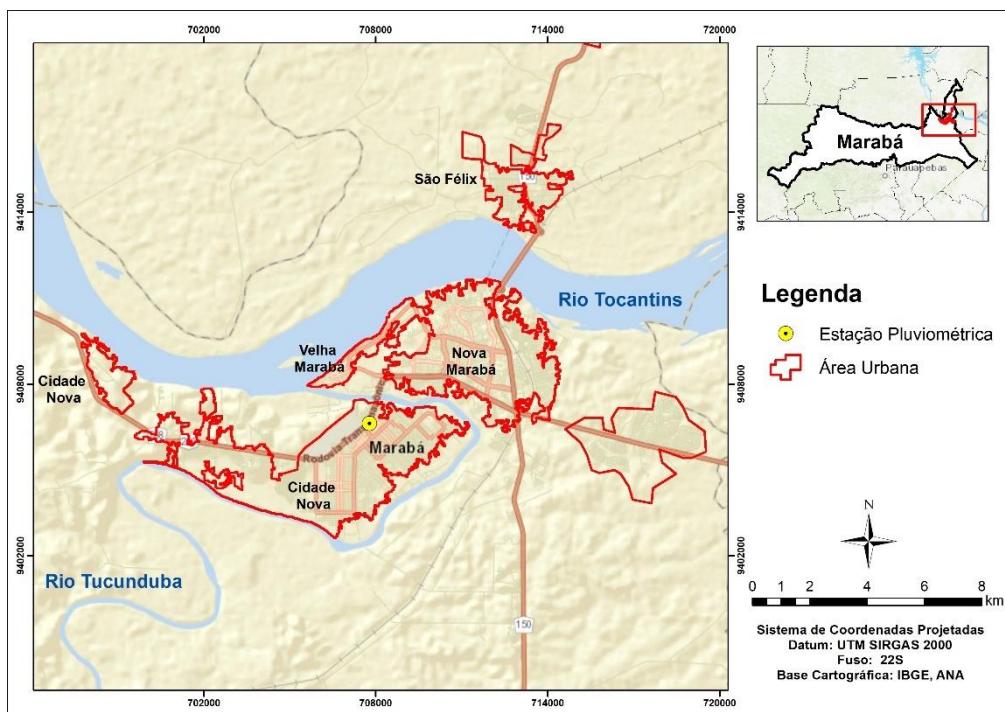
Ademais, com o avanço de tecnologias de sensoriamento remoto, como o uso de satélites e radares, houve a possibilidade do desenvolvimento de instrumentos voltados para a análise da distribuição espacial e temporal da chuva como os radares meteorológicos (MIGUEL; RENNÓ, 2020). Esses avanços possibilitam a aquisição de dados mais rápido e confiáveis, permitindo a estimativa do escoamento superficial através de geoprocessamento.

Neste contexto, o trabalho objetiva analisar o escoamento superficial da área urbana do município de Marabá - PA, utilizando o método CN e técnicas de geoprocessamento, para períodos de maiores e menores precipitações, integrando informações relativas ao meio físico, de forma a disponibilizar um instrumento de auxílio na avaliação e tomadas de decisões. A escolha do local se dá, pois, a área de urbana de Marabá possui diversos pontos de inundações, principalmente no período mais chuvoso (ALVES; SOUSA, 2019), sendo o município do Pará que apresentou o maior número de ocorrências de inundações, entre os anos de 1991 a 2012, de acordo com o Atlas de Desastres Naturais (UFSC, 2013).

Caracterização da área de estudo

O município de Marabá localiza-se no sudeste Paraense, em confluência os rios Itacaúnas e Tocantins (Figura 1). Possui extensão territorial 15.157,90 km² e população de 275.086 habitantes. Sua densidade demográfica é de 18,18 habitantes/km², sendo o quarto município mais populoso do Estado do Pará (IBGE, 2023).

Figura 1 – Mapa de localização da área urbana do Município de Marabá - PA.



Elaborado pelos autores.

A cidade divide-se em cinco núcleos urbanos distintos: Marabá Pioneira ou Velha Marabá localizada as margens dos rios, Cidade Nova, onde se situa o aeroporto, Nova Marabá onde os bairros recebem o nome de folhas numeradas, São Felix I e II, situados depois da ponte sobre o rio Tocantins e Morada Nova, a 20 km de Marabá.

O município possui clima tropical, classificado como Aw, segundo Koppen. A precipitação média é de 2.200 mm e a temperatura média do ar é de 26°C. A pedologia da área de estudo é caracterizada pelas classes gleissolo, neossolo, latossolo e argissolo (EMBRAPA, 2011).

Metodologia

Cálculo do Escoamento Superficial – Método NRCS

O método NRCS é um dos mais utilizados para estimar o escoamento superficial devido, a simplicidade e disponibilidade dos dados, sendo bastante comum em modelos hidrológicos de bacias hidrográficas em diversos países (SARTORI; HAWKINS; GENOVEZ, 2011; SOARES et al., 2014).

Primeiramente, deve-se definir a precipitação média mensal para período mais chuvoso, que corresponde aos meses de dezembro a maio. Os dados utilizados foram obtidos de 7 estações pluviométricas (Tabela 1) da Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA).

Tabela 1 – Informações das estações pluviométricas utilizadas na pesquisa.

Código	Nome Estação	Série Histórica
549004	Serra Pelada	30 anos
549007	Km 60 / PA-150	30 anos
549011	Fazenda Alegria	14 anos
549008	Itupiranga	25 anos
548002	Bom Jesus Do Tocantins	19 anos
549002	Marabá	30 anos
651001	Boa Esperança	30 anos

Fonte: ANA (2023).

A espacialização dos dados de precipitação foi realizada por intermédio do método de Interpolação da Inversa Distância (IDW) para a média mensal de precipitação dos dados da ANA. Esse método estatístico simples e eficaz utiliza uma combinação linear ponderada e é recomendado quando os pontos estão distribuídos uniformemente (SHAHID; LQBAL; KHAN, 2017).

Em seguida, a partir da equação proposta pela NRCS, é possível estimar a precipitação efetiva (Equação 1), que representa a parcela da precipitação que ocasiona o escoamento superficial (RODRIGUES; BITTENCOURT; FERNANDES, 2018; TARGA et al., 2012), variando com base no coeficiente de armazenamento de infiltração (Equação 2) e no coeficiente de escoamento superficial (Equação 3).

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

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

$$C = \frac{(P - 0,2S)2}{(P + 0,8S)} \quad (3)$$

Em que: Pe é a Precipitação Efetiva ou Escoamento Superficial (mm); P é a Precipitação Acumulada (mm); S é Coeficiente de Armazenamento de Infiltração Superficial (mm); CN é o Curver Number; e C é o Coeficiente de Escoamento Superficial.

O método consiste em analisar o uso e a cobertura do solo juntamente com as características da pedologia, possibilitando estimar o escoamento superficial de uma área. Para determinação da pedologia, utilizou-se os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE do projeto RADAM (2004), os quais foram extraídos e espacializados em um ambiente SIG.

Os valores de CN dependem diretamente das características de umidade, uso e cobertura do solo (NUNES; FIORI; FIRPO, 2011). No método NRCS são considerados quatro grupos hidrológicos de solos (Tabela 2).

Tabela 2 – Grupos hidrológicos de solos A, B, C e D.

Grupo	Tipos de solo e condições de uso
A	Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, sem rocha nem camadas argilosas, ou mesmo densificadas, até a profundidade de 1,5 m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%.
B	Solos arenosos menos profundos que os do grupo A e com menos teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. Não pode haver pedras nem camadas argilosas até 1,5 m, mas é quase sempre presente camada mais densificada que a camada superficial.
C	Solos barrentos com teor total de argila de 20 a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidade de 1,2 m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5 m.
D	Solos argilosos (30 a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como os do grupo B, mas com a camada argilosa quase impermeável, ou horizontes de seixos rolados.

Fonte: NRCS (1997).

Para a análise do uso e cobertura do solo foi utilizado a imagem do Google Earth na escala de 1:2000 vetorizada em 6 classes: água, grama, asfalto, concreto/telhado, vegetação e solo exposto. As imagens do Google Earth disponibilizam imagens de alta resolução espacial favorecendo o mapeamento de escalas detalhadas, auxiliando no processo de amostras e validação dos dados (AYACH et al., 2012).

Após a aquisição dos dados de pedologia e uso e cobertura do solo, houve o cruzamento das informações de acordo com os critérios estabelecidos nos tipos de solos (Tabela 2) com os valores de CN do uso do solo (Tabela 3) utilizando técnicas de geoprocessamento e, posteriormente, através das equações, foram elaborados os índices de escoamento e a confecção dos mapas.

Tabela 3 – Valores de Curve Number (CN) em função do uso e cobertura do solo.

Descrição de uso do solo	Tipo de Solo			
	A	B	C	D
Espaços abertos: matos ou gramas cobrem 75% ou mais da área	39	61	74	80
Matos cobrem 50 a 75% da área	49	69	79	77
Áreas comerciais (85% impermeáveis)	89	92	94	95
Distritos industriais (72% impermeáveis)	81	88	91	93
Áreas residenciais		Tipo de Solo		
Tamanho do lote (m ²)	Área impermeável (%)	A	B	C
< 500	65	77	85	90
1.000	38	61	75	83
1.300	30	57	72	81
2.000	25	54	70	80
4.000	20	51	68	79
Parques e estacionamentos, telhados, viadutos		98	98	98
Arruamentos e estradas: asfaltadas e com drenagem pluvial		98	98	98
Paralelepípedos		76	85	89
Terra		72	82	87
				89

Fonte: Tucci e Marques (2001).

Por fim, a aplicação do CN leva em consideração a condição média de umidade (II) antecedente do solo, admitindo os eventos chuvosos ocorridos nos cinco dias anteriores ao dia analisado (Tabela 4). Os valores de CN variam de 0 a 100, em que valores mais elevados são considerados solos mais impermeáveis, indicando assim uma menor infiltração e,

consequentemente, um maior escoamento superficial (RODRIGUES; BITTENCOURT; FERNANDES, 2018; SANTOS; LOLLO, 2016; NUNES; FIORI; FIRPO, 2011).

Tabela 4 – Conversão do valor de Curve Number (CN) para as condições de umidade I, II e III.

Condições de umidade		
I (Solo seco)	II (Situação média)	III (Solo úmido)
Chuvas nos últimos 5 dias não ultrapassam 15 mm	Chuvas nos últimos 5 dias totalizam entre 15 mm e 40 mm	Chuvas dos últimos 5 dias superiores a 40 mm
100	100	100
87	95	99
78	90	98
70	85	97
63	80	94
57	75	91
51	70	87
45	65	83
40	60	79
35	55	75
31	50	70
27	45	65
23	40	60
19	35	55
15	30	50

Fonte: Tucci e Marques (2001).

Resultados e discussão

A classificação da pedologia na área urbana de Marabá – PA abrangeu dois tipos de solos: Argissolo, que corresponde a maior parte da área de estudo com aproximadamente 89%; e Latossolo, com aproximadamente 11% da área total (Tabela 5).

Tabela 5 – Área e percentual de Pedologia da área urbana do Município de Marabá - PA.

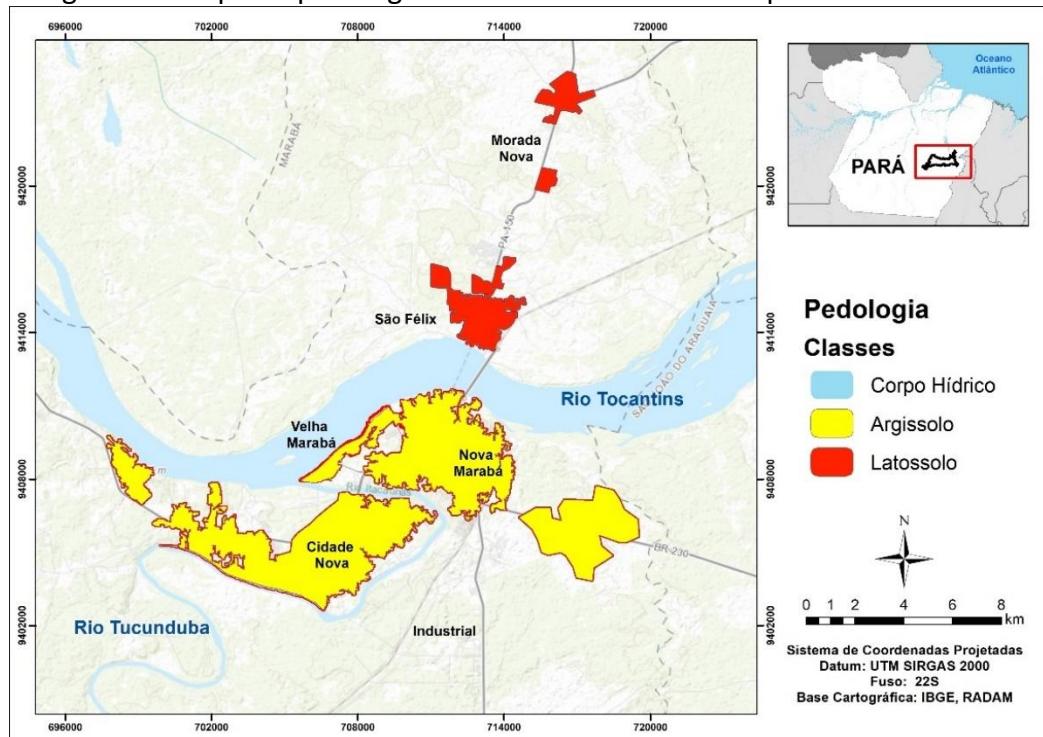
Classes	Área (km ²)	
	km ²	%
Argissolo	66.53	88.80
Latossolo	8.39	11.20

Elaborado pelos autores.

Analisando os grupos hidrológicos de solo do método NRCS, constatou-se que a classe Argissolo corresponde ao grupo C, indicado na Tabela 2. Estes solos são bem drenados, desenvolvidos e têm boa capacidade de armazenar água (SANTOS; LOLLO, 2016; EMBRAPA, 2011). O Latossolo, por sua vez, corresponde ao grupo B, caracterizado como bem drenado, estável, bem desenvolvido, geralmente compõe solos profundos água (SANTOS; LOLLO, 2016; EMBRAPA, 2011). Ambos estão localizados no distrito São Félix e Morada Nova (Figura 2).

Esses dados vão ao encontro dos estudos de Nunes, Fiori e Firpo (2011), os quais verificaram que o solo latossolo possui uma boa drenagem, no entanto, quando sujeito a processos de compactação e impermeabilização, pode apresentar problemas quanto à capacidade de infiltração.

Figura 2 – Mapa de pedologia da área urbana do Município de Marabá - PA.

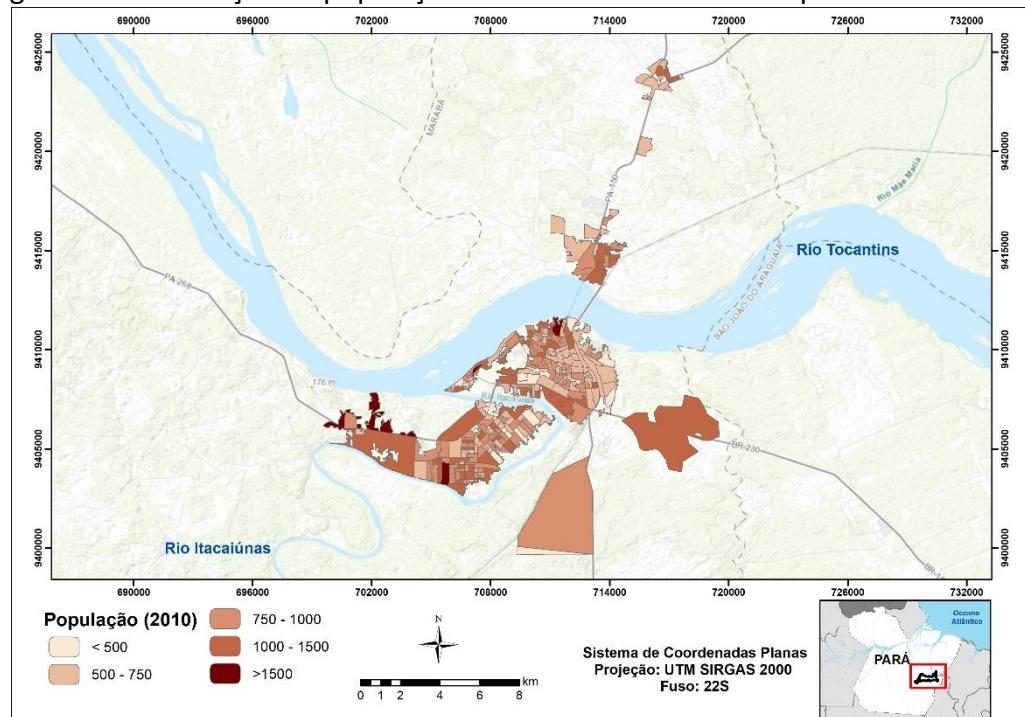


Elaborado pelos autores.

A análise do uso e cobertura do solo permitiu verificar a influência do crescimento populacional, e consequentemente, do adensamento urbano no escoamento superficial na área urbana de Marabá - PA (Figura 3). De acordo com os dados do IBGE, a população de Marabá no ano

2000 era de 168 mil habitantes e no ano de 2018 apresentou cerca uma população de 275 mil pessoas. Já em 2023, a área urbana de Marabá era de 207 mil habitantes e 53.642 domicílios.

Figura 3 – Distribuição da população da área urbana do Município de Marabá - PA.



Elaborado pelos autores.

Rodrigues, Bittencourt e Fernandes (2018) e Rodrigues et al. (2020) fizeram uma análise multitemporal avaliando as mudanças do uso e cobertura do solo e sua interferência no escoamento superficial. Os resultados dos estudos mostram que o aumento da expansão urbana e da retirada da vegetação implica em alterações na superfície e ocasiona alterações na fase terrestre do ciclo hidrológico, consequentemente intensifica o escoamento superficial.

De acordo com a Tabela 6, as classes com maiores valores de CN, concreto/telhado, asfalto e solo exposto, apresentaram 28,21%, 11,50% e 15,55%, respectivamente. Para Targa et al. (2012), o processo de urbanização altera a superfície do solo e interfere diretamente no ciclo hidrológico, reduzindo a área de infiltração e aumentando consideravelmente o escoamento superficial.

Tabela 6 – Área e percentual de uso do solo na área urbana do Município de Marabá - PA.

Classes	Área	
	Km ²	%
Água	0,29	0,39
Asfalto	8,65	11,50
Concreto/Telhado	21,22	28,21
Grama	13,64	18,13
Solo Exposto	11,70	15,55
Vegetação	19,72	26,22

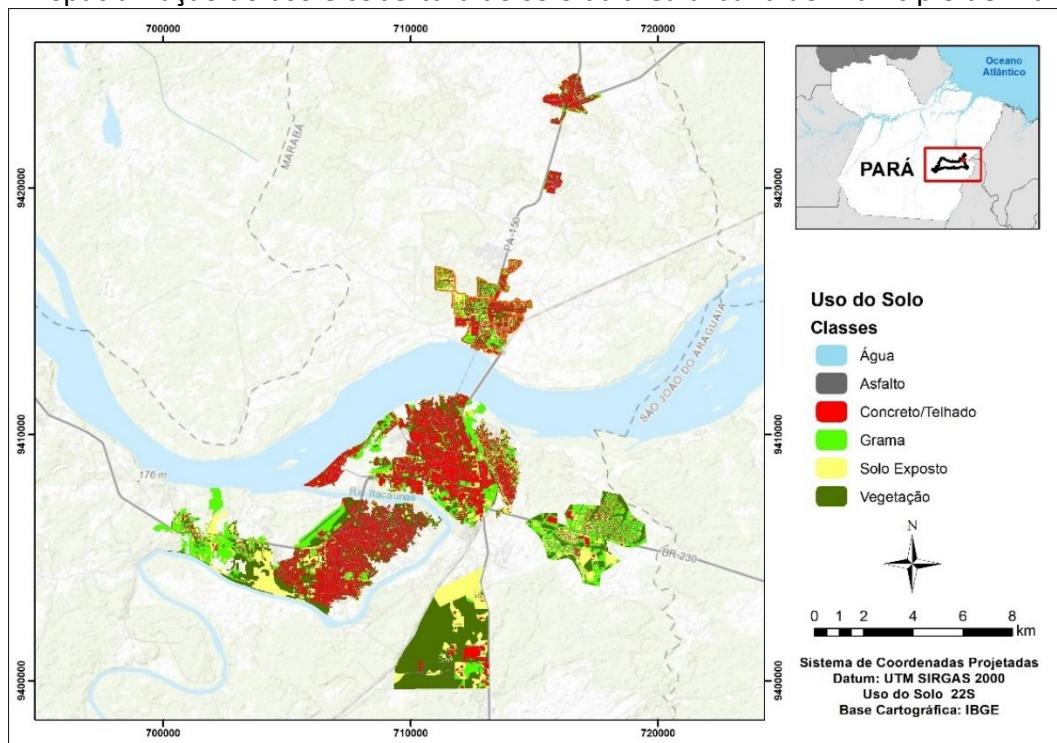
Elaborado pelos autores.

As classes de grama e vegetação, com menores valores de CN, apresentaram uma extensão territorial de 13,64 km² e 19,72 km², respectivamente. A classe de água apresentou apenas 0,39% da área total. De acordo com Raiol (2009), as áreas de vegetação sofreram grande redução na cidade de Marabá devido ao crescimento populacional, agricultura e pecuária, acarretando diversos problemas, como alagamentos e erosão.

Raiol (2009) também mostra que a cobertura vegetal em 1990 na área urbana de Marabá era de aproximadamente de 50 km², já no ano 2000, apresentou uma área de 40 km². O autor afirma que a redução das florestas provoca danos ao meio ambiente, a exemplo da poluição ou eliminação de nascentes, além da aceleração dos processos erosivos e assoreamentos dos corpos hídricos. Em relação à área construída, no ano de 2000, segundo a pesquisa, apresentou uma área de 45,18 km², ou seja, houve uma diminuição de aproximadamente 24 km², mostrando que as áreas vegetadas estão sendo ocupadas por áreas urbanas no território em estudo.

Após a análise do uso e cobertura do solo, as classes foram relacionadas de acordo com os valores de CN (Figura 4). As áreas com predomínio de vegetação apresentaram os menores valores de CN, com 68 localizadas no solo Argissolo e 78 na classe latossolo, cujo escoamento superficial corresponde a valores 154,97 e 188,31 (mm/mês). Observa-se ainda, há predominância da cobertura concreto/telhado, confirmando que a maior parte da vegetação de Marabá vem sendo suprimida pelo crescimento urbano da cidade.

Figura 4 – Espacialização do uso e cobertura do solo da área urbana do Município de Marabá - PA.



Tucci (1993) defende que os valores de CN depende diretamente de outras variáveis e atributos físicos, como o regime de chuvas em determinado período e a capacidade de infiltração. Nessa perspectiva, considerando a média mensal do período de maior e menor precipitação, chegou-se aos seguintes resultados das Tabela 7.

Tabela 7 – Valores da Curva Number (CN) da área urbana do Município de Marabá - PA durante o período mais chuvoso.

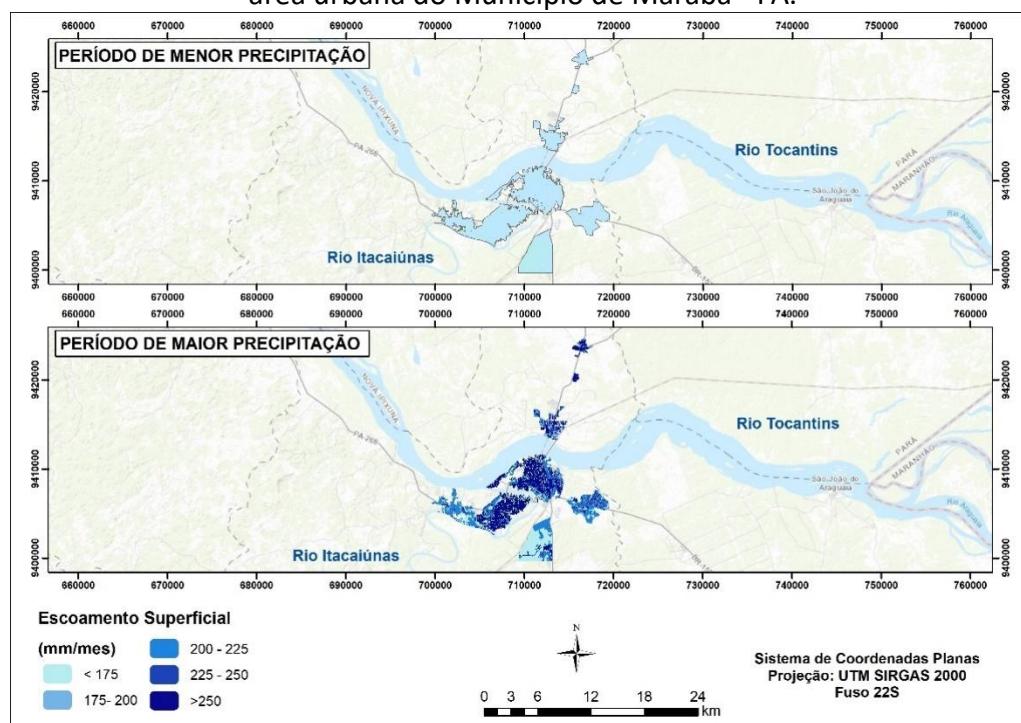
Classe	CN		S (mm/mês)		Escoamento Superficial (mm/mês)		C	
	Solo B	Solo C	Solo B	Solo C	Solo B	Solo C	Solo B	Solo C
Concreto/Telhado	98	98	5,18	5,18	251,88	251,88	0,976	0,976
Asfalto	98	98	5,18	5,18	251,88	251,88	0,976	0,976
Grama	76	84	80,21	48,38	181,72	207,83	0,704	0,806
Vegetação	68	78	119,53	71,64	154,97	188,31	0,601	0,730
Solo Exposto	82	87	55,76	37,95	201,37	217,45	0,780	0,843

Elaborado pelos autores.

Conforme o coeficiente C, houve um escoamento superficial de 0,73 (73%) (Solo C), ou seja, houve uma interceptação de 27% pela vegetação. No tipo de solo B, houve um escoamento 0,60 (60%) e, por conseguinte, uma retenção de 40% da chuva pela vegetação na área urbana da cidade de Marabá. Segundo o estudo de Cuartas et al. (2007), cerca de 22,7% da chuva na região amazônica é interceptada pela vegetação. Na medida em que vai aumentando a urbanização, ocorre a impermeabilização, grande parte da precipitação se transforma em escoamento superficial e, assim, aumenta o índice C (RODRIGUES; BITTENCOURT; FERNANDES, 2018).

As classes de concreto/telhado e asfalto obtiveram um escoamento superficial de aproximadamente 98% no período de maior precipitação e 90% no período de menor precipitação (Figura 5). Com o aumento da ocupação urbana e, consequentemente, o aumento de áreas impermeáveis, há maior ocorrência de enchentes e inundações urbanas devido à impermeabilização do solo através das calçadas, telhados (TUCCI, 2003).

Figura 5 – Mapa de Escoamento Superficial nos períodos de maiores e menores precipitações na área urbana do Município de Marabá - PA.



Elaborado pelos autores.

Analisando o coeficiente S, percebeu-se que as classes concreto/telhado e asfalto obtiveram os menores índices, com 5,18 mm/mês (Tabela 8), ou seja, este valor é a capacidade máxima de infiltração da camada superficial do solo nas áreas consideradas impermeáveis na área de estudo. Em áreas com presença de vegetação e grama, em solo de classe B, o coeficiente S corresponde a 119,53 e 80,21 mm/mês respectivamente, apresentando um alto índice de infiltração do solo. A classe de solo exposto apresentou 55,76 mm/mês no tipo de solo B e 37,95 no tipo de solo C.

Tabela 8 – Valores da Curva Number (CN) da área urbana do Município de Marabá - PA durante o período menos chuvoso.

Classe	CN		S (mm/mês)		Escoamento Superficial (mm/mês)		C	
	Solo B	Solo C	Solo B	Solo C	Solo B	Solo C	Solo B	Solo C
Concreto/Telhado	98	98	5,18	5,18	52,21	52,21	0,90	0,900
Asfalto	98	98	5,18	5,18	52,21	52,21	0,90	0,900
Grama	76	84	80,21	48,38	14,41	24,15	0,25	0,416
Vegetação	68	78	119,53	71,64	7,57	16,54	0,13	0,285
Solo Exposto	82	87	55,76	37,95	21,39	28,76	0,37	0,496

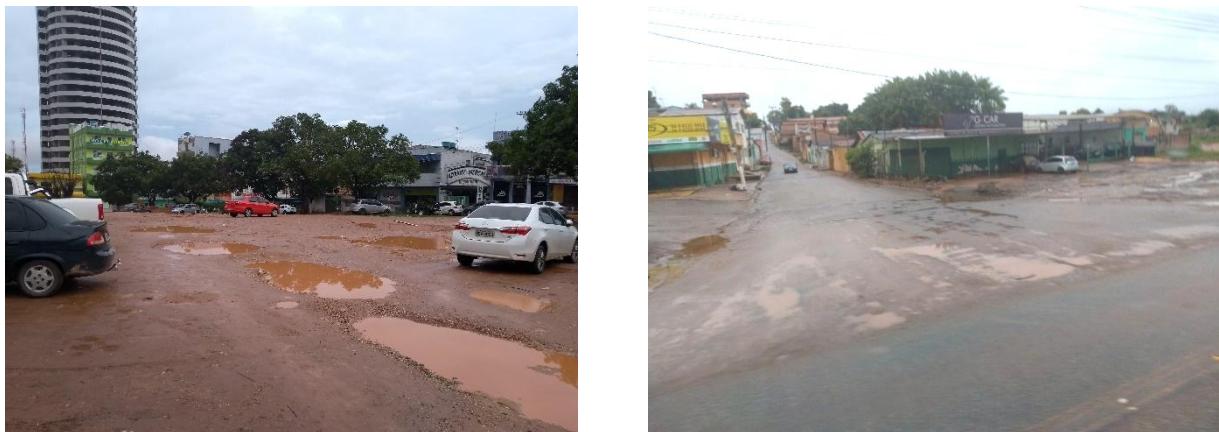
Elaborado pelos autores.

É importante ressaltar que outros fatores estão diretamente relacionados com o escoamento superficial, como os fatores fisiográficos relacionados às características físicas da bacia e, entre os mais importantes, estão a área, a permeabilidade e a capacidade de infiltração da bacia. A área está relacionada à quantidade que a bacia pode captar, a permeabilidade influí na capacidade de infiltração. Outro fator são as obras hidráulicas construídas na bacia, as quais podem alterar o escoamento superficial de uma determinada área (TUCCI, 1993).

Com o aumento da urbanização, também ocorre a intensificação do escoamento superficial devido à impermeabilização do solo, fato que faz parte da precipitação se transformar em escoamento, aumentando consideravelmente o índice C. Assim, o coeficiente C é de suma importância na avaliação da capacidade de drenagem (RODRIGUES; BITTENCOURT; FERNANDES, 2018).

A Figura 6 retrata grandes áreas com acúmulo de águas localizadas em áreas de solo exposto e em áreas com asfalto na área urbana de Marabá no mês de janeiro, um dos meses de maiores precipitações, consideradas áreas impermeáveis e possuem maiores probabilidades de ocorrer inundações.

Figura 6 – Locais com acúmulo de água na área urbana do Município de Marabá - PA.



Elaborado pelos autores.

Para um planejamento territorial futuro, é de suma importância o crescimento de forma organizada da área urbana na região, evitando ocupações irregulares e uso indevido dessas áreas. Portanto, é primordial criar medidas que minimizem os impactos ocasionados pelo escoamento superficial, que acabam provocando enchentes e prejudicando a qualidade de vida. Umas das alternativas é a educação ambiental, sistema de drenagem e um mapa de inundação para a gestão ambiental do município, procurando evitar as ocupações dessas áreas (SANTOS; LOLLO, 2016).

Considerações Finais

Conclui-se que com a intensificação da área urbana no município no decorrer dos anos, ocorreu uma diminuição dos índices de capacidade de armazenamento superficial do solo e consequentemente houve um acréscimo do índice de escoamento superficial.

A aplicação do método NRSC juntamente com técnicas de geoprocessamento permitiu analisar as áreas com maiores índices de escoamento superficial no município de Marabá no período de maior e menor precipitação. Portanto o mapa do escoamento superficial pode ser utilizado pelos órgãos públicos como uma ferramenta de gestão ambiental e no auxílio na tomada de decisão com a finalidade de minimizar os impactos econômicos e sociais no município.

Dessa forma, o método pode contribuir de forma significativa para o planejamento territorial do município, evitando processos que possam degradar o solo, enchentes e, por conseguinte, melhorar a qualidade de vida da população.

Referências

- ALENCAR, D. B. S. de; SILVA, C. L. da; OLIVEIRA, C. A. da S. Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 103-112, jan. 2006.
- ALVES, D. A.; DE SOUZA, T. D. DISPOSITIVOS DE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL PARA O MUNICÍPIO DE MARABÁ-PA. Anais do V Seminário de Iniciação Científica. Marabá, 2019.
- ANA. Agência Nacional de Águas. Hidrologia Básica. 2012. Disponível em <https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/66/2/Unidade_1.pdf> Acesso: 10 de nov. 2023.
- AYACH, L. R.; CUNHA, E. R.; SILVA, L. F.; BACANI, V. M. Utilização de imagens Google Earth para mapeamento do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do córrego Indaiá, MS. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v. 2, n. 4, p. 1801-1811, 2012.
- BEVEN, K. J. **Rainfall-Runoff modelling: the primer**. 2 ed. Lancaster, UK: John Wiley & Sons, 2012.
- BIDDOCCU, M.; FERRARIS, S.; OPSI, F.; CAVALLO, E. Long-term monitoring of soil management effects on runoff and soil erosion in sloping vineyards in Alto Monferrato (North-West Italy). **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 176-189, 2016.
- CARVALHO, F. Abstração inicial e valores CN em diferentes usos da terra no Cerrado com utilização de um simulador de chuva. 205 f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.
- CHEN, J.; THELLER, L.; GITAU, M. W.; ENGEL, B. A.; HARBOR, J. M. Urbanization impacts on surface runoff of the contiguous United States. **Journal of Environmental Management**, v. 187, p. 470-481, 2017.

CUARTAS, L. A.; TOMASELLA, J.; NOBRE, A. D.; HODNETT, M. G.; WATERLOO, M. J.; MÚNERA, J. C. Interception water-partitioning dynamics for a pristine rainforest in Central Amazonia: Marked differences between normal and dry years. **Agr. Forest. Meteorol.**, v. 145, p. 69-83, 2007.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa solos, 2011.

FAN, F. M.; RAMOS, M. H.; COLLISCHONN, W. Sobre o uso de previsões hidrológicas probabilísticas para tomada de decisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 914 - 926, 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2023. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso: 12 out. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. RADAMBRASIL. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bcim/>. Acesso: 28 out. 2023.

LAGADEC, L. R.; PATRICE, P. P.; BRAUD, I.; CHAZELLE, B.; MOULIN, L.; DEHOTIN, J.; HAUCHARD, E.; BREIL, P. Description and evaluation of a surface runoff susceptibility mapping method. **Journal of Hydrology**, v. 541, p. 495–509, 2016.

MIGUEL, B. H.; RENNÓ, C. D. Uso de Dados de Radar Meteorológico em Modelo Hidrológico SCS-CN para a Estimativa de Escoamento Superficial. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, n. 3, p. 501-516, 2020.

NRCS. US. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Soil Survey Staff. **National Soil Survey Handbook**, title 430-VI. Washington. DC: Government Printing Office. 1997.

NUNES, F. G.; FIORI, A. P.; FIRPO, G. Estimativa de coeficientes de escoamento superficial na bacia hidrográfica do Rio Atuba: Curitiba e Região Metropolitana Paraná/Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 65, 2011.

RAIOL, J. A. **Perspectivas para o meio ambiente urbano**. GEO Marabá. Pará. Belém: [s.n.], 136p, 2009.

RODRIGUES, R. S. S.; BITTENCOURT, G. M.; FERNANDES, L. L. Escoamento Superficial em uma Pequena Bacia Hidrográfica Rural da Amazônia. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 2, p. 605-628, 2018.

SANTOS, F. M.; LOLLO, J. A. Cartografia digital para estimativa de escoamento superficial visando ao planejamento urbano. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 663-675, 2016.

SARTORI, A.; HAWKINS, R. H.; GENOVEZ, A. M. Reference curve numbers and behavior for sugarcane on highly weathered tropical soils. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 137, n. 11, p. 705-711, 2011.

SHAHID, S. U.; LQBAL, J.; KHAN, S. J. A comprehensive assessment of spatial interpolation methods for the groundwater quality evaluation of Lahore, Punjab, Pakistan. **NUST Journal of Engineering Sciences**, v. 10, n. 1, p. 1-13, 2017.

SOARES, M. R. G. J.; CENTENO, J. A. S.; FIORI, C. O.; SILVEIRA, C. T.; KAVISKI, E. Potencial de Retenção de Águas Pluviais pelo Método “Curve Number”. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 3, p. 476-485, 2014.

SURIYA, S.; MUDGAL, B. V. Impact of urbanization on flooding: The Thirusoolam sub watershed - A case study **J. Hidrol.**, v. 412, p. 210 - 219, 2012.

TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. D.; DIAS, N. W.; MATOS, F. C. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Ambi-Agua**, v. 7, n. 2, p. 120-142, 2012.

TOSTA, A. B. M.; SOUZA, C. Q.; RODRIGUES, J. R.; CAVALCANTI, R. P.; LACERDA, M. C. Escoamento superficial em áreas urbanas utilizando asfalto permeável (CBOQ). **Revista Saberes de Unijipa**, v. 4, n. 20, p. 12, 2012.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, ABRH, 1993.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J.C. (orgs.). Apostila de Inundações Urbanas da América Latina. Porto Alegre, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. M. **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: Ed. UFRGS. 2001.

UFSC. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012**. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2. ed. rev. ampl. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.