

Received:
October 15, 2023

Accepted:
October 23, 2023

Published:
October 30, 2023

Urbanization Impact on Erosion and Streamflow Patterns in two different regions of Teófilo Otoni - MG

Rafael Alvarenga Almeida¹ , Geraldo Lopes Neto¹ , Sérgio Pereira Cerqueira¹ 
Thainá Moreira Chaves¹ , Camila de Sousa Queiroz Almeida¹ , Daniel Moraes Santos¹ 

¹ Federal University of Jequitinhonha and Mucuri Valleys (UFVJM), Teófilo Otoni, Brazil.

Email address

rafael.almeida@ufvjm.edu.br (Rafael A. Almeida) – Corresponding author.

geraldo.lopes@ufvjm.edu.br (Geraldo L. Neto)

thaina.chaves@ufvjm.edu.br (Sérgio P. Cerqueira)

sergio.cerqueira@ufvjm.edu.br (Thainá M. Chaves)

camila.queiroz@ufvjm.edu.br (Camila S.Q. Almeida)

daniel.moraes@ufvjm.edu.br (Daniel. M. Santos)

Abstract

Urbanization progress has a direct impact on urban drainage due to the increase in impermeable surfaces. Ignoring these factors during urban planning can result in negative environmental consequences and a reduced quality of life in urban areas. Geoprocessing tools, such as GIS, are valuable for visualizing and characterizing study areas, facilitating data collection for terrain studies. This study focuses on characterizing the surfaces of three districts in Teófilo Otoni, MG: Castro Pires, Jardim São Paulo, and Santa Clara. These districts are distributed across two regions with different urban occupation patterns. We applied the Rational, Modified Rational, and Curve Number methods to estimate surface runoff and analyze variations over a 20-year period. Additionally, we utilized the USLE Method to estimate erosion. Data collection was conducted using ArcMap and Google Earth software. We observed a medium increase of 126% in the impermeable area across the three districts over the 20-year period. Surface runoff depth increased by 36% when using the rational methods and by 57% when applying the curve number method. Furthermore, we identified that the Rational Method tends to overestimate surface runoff depth. Conversely, soil erosion decreased in all three districts: 12.8% in Santa Clara, 18.0% in Castro Pires, and 20.4% in Jardim São Paulo. Our results illustrate the substantial influence of land use and urban development on erosion processes, particularly as a result of the expansion of impermeable surfaces in the studied areas.

Keywords: Urbanization, Geoprocessing, Impermeable Area, Drain Blade.

1. Introdução

O rápido crescimento das cidades contribui para alterar os cursos de águas naturais, comprometendo as suas características naturais e afetando a qualidade e a funcionalidade dos sistemas hidrográficos. Obras de urbanização, tais como edificações, pavimentações, calçamentos, aterros e canalização dos cursos de água, resultam na impermeabilização da superfície e, assim, limitam a capacidade de infiltração e ampliam o processo de erosão. Segundo Nunes, Fiori e Firpo (2011), ao impermeabilizar a superfície do terreno, a quantidade e a velocidade do escoamento

superficial da água aumentam, reduzindo o tempo de concentração da água e a vazão de base. Dessa forma, há um aumento da vazão de cheia e, consequentemente, aumento das inundações.

Nesse cenário, a gestão e o planejamento urbano são fundamentais para garantir o uso adequado do solo, por meio de parâmetros urbanísticos específicos, como o gabarito, o afastamento, o coeficiente de aproveitamento, a taxa de ocupação, a taxa de permeabilidade e o zoneamento urbano (Santos, Rufino e Barros Filho, 2017). Entre outras, as ferramentas de geoprocessamento podem nortear as ações intersetoriais de planejamento urbano, a fim de

conter a intensificação das alterações nos sistemas hidrográficos. De acordo Moraes, Canôas e Cambraia (2014), o geoprocessamento pode ser usado para mapear informações espaciais e temporais, permitindo a localização de áreas prioritárias para intervenção. Ainda, possibilita identificar os locais onde as ações terão maior impacto na qualidade de vida e comparar os registros atuais com os de anos anteriores, além de pautar uma análise profunda das mudanças e tendências.

A cidade de Teófilo Otoni está situada no estado de Minas Gerais, mesorregião do Vale do Mucuri, a aproximadamente 450 km de Belo Horizonte. Localizada a 17° 51' 32" Sul e 41° 30' 32" Oeste de Greenwich, o município possui área territorial de 3.242,270 km² e sua população estimada é de 141.269 habitantes, com uma densidade demográfica de 41,56 habitantes por km² (IBGE, 2021). De acordo com Moraes, Canôas e Cambraia (2014) e Ferraz et al. (2022), Teófilo Otoni se expandiu a partir das planícies fluviais ao longo do Rio Todos os Santos e seus principais afluentes, o Rio São Jacinto e o Rio Santo Antônio. No entanto, ao longo do final do século XX, experimentou um crescimento urbano rápido e desigual. A partir dessa expansão, o município tem enfrentado problemas relacionados ao meio ambiente, à saúde e à qualidade de vida da população, como a ocupação inadequada de áreas de preservação ambiental, a destruição dos cursos d'água, a impermeabilização do solo, inundações, alagamentos e a ocupação desordenada do espaço urbano.

Este estudo teve como objetivo determinar e comparar a lâmina de escoamento superficial obtida por diferentes metodologias, além de avaliar a erosão em duas regiões da cidade de Teófilo Otoni - MG, caracterizadas por diferentes processos de urbanização.

2. Metodologia

2.1. Área de estudo

Definiu-se como área de estudo os bairros Castro Pires, Jardim São Paulo e Santa Clara do município de Teófilo Otoni, estado de Minas Gerais (Figura 1), com aproximadamente 29 km² de área.

O mapeamento da região foi realizado no software ArcMap versão 10.8 e, com o auxílio do Google Earth, obteve-se as imagens de satélite da área de estudo nos períodos designados. Foram

utilizados os registros de imagens de agosto de 2002 e de junho de 2022. A altitude do ponto de visão para os bairros Jardim São Paulo e Castro Pires foi de 2,12 km e para o bairro Santa Clara foi 2,53 km.

Após a obtenção das imagens, em cada bairro foram demarcados 10 pontos no Google Earth para determinação das coordenadas geográficas e georreferenciamento. O ajuste das imagens para escala, rotação e posição foi realizado no ArcMap, marcando os pontos conhecidos nas imagens extraídas e transpondo-os para as coordenadas corretas.

A partir das imagens georreferenciadas, no ArcMap iniciou-se o procedimento do mapeamento, mediante observação, foram classificadas as superfícies manualmente como áreas de solo exposto, vegetação rasteira, vegetação florestal e área impermeabilizada. Em seguida, foi possível obter o valor das áreas de cada superfície classificada e separá-las de acordo com o ano e bairro, assim obtendo um levantamento de toda a classificação das superfícies dos bairros para os anos de 2002 e 2022.

2.2. Estimativa da lâmina de escoamento superficial

Os métodos aplicados para obter a estimativa da lâmina de escoamento superficial foram: o método racional, o método racional modificado e o método de número da curva (CN-SCS). A realização da análise por três métodos diferentes possibilita a observação das divergências nos resultados que as diferentes premissas, limitações, potencialidades e parâmetros utilizados resultam.

O coeficiente de escoamento superficial é determinado de acordo com a natureza da superfície e varia conforme o tipo de superfície de escoamento. Os valores adotados no presente trabalho estão apresentados na Tabela 1 e foram baseados nos valores adotados pelo município de São Paulo (1999), que possui características similares às classes delimitadas no presente trabalho.

Tabela 1 – Coeficientes de escoamento superficial adotados em função da característica da superfície analisada (adaptado do Município de São Paulo, 1999).

Característica da superfície	Coeficiente de Escoamento
Solo exposto	0,20
Vegetação Rasteira	0,25
Vegetação Florestal	0,15
Área Impermeabilizada	0,90

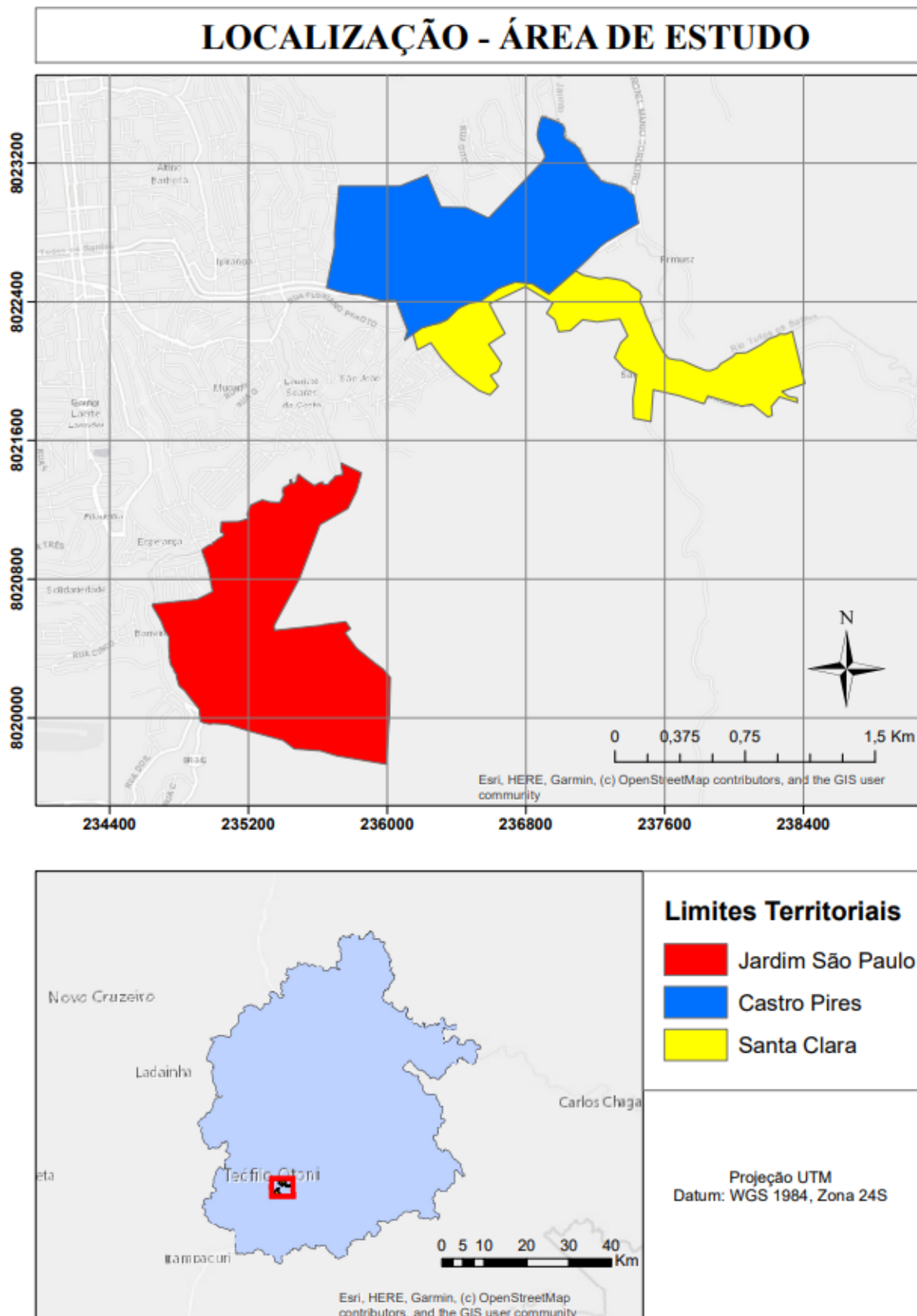


Figura 1 – Área de estudo e delimitação dos bairros.

Para a realização do cálculo do coeficiente de escoamento (Runoff - C) de cada bairro, foi feito o cálculo da média ponderada, somando a área e multiplicando o coeficiente de escoamento

superficial de cada superfície levantada dividido pela área total do bairro, de acordo com a Equação (1):

$$C = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + \dots + C_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (1)$$

Onde:

C = coeficiente de escoamento superficial;

C_n = coeficiente de escoamento superficial para uma dada superfície;

A_n = área de contribuição de uma dada superfície.

2.2.1. Método Racional

A vazão de pico, pelo método racional, é dada pela seguinte equação (2):

$$Q = \frac{CIA}{360} \quad (2)$$

Onde:

Q = vazão máxima de escoamento, m³ s⁻¹;

C = coeficiente de escoamento superficial (Runoff), adimensional;

I = intensidade média máxima de precipitação, mm.h⁻¹;

A = área de contribuição da bacia, ha.

A intensidade média máxima de precipitação, foi estimada através da equação de chuvas intensas (3):

$$I = \frac{a T^b}{(t+c)^d} \quad (3)$$

Onde

I = intensidade média máxima de precipitação, mm.h⁻¹;

T = período de retorno, anos;

t = duração da precipitação, min;

a, b, c, d = parâmetros de ajuste, relativos à estação pluviográfica estudada.

De acordo com o Atlas Pluviométrico do Brasil (2014), os parâmetros de ajuste da equação para Teófilo Otoni são os seguintes: a = 1715,7860; b = 0,2010; c = 26,9620 e d = 0,8150. Logo, a Equação (4) da intensidade média máxima de precipitação se dá por:

$$I = \frac{1715,7860 T^{0,2010}}{(t + 26,9620)^{0,8150}} \quad (4)$$

Segundo Schwab et al. (1966), 10 anos é um período de retorno adequado para projetos de conservação de solos e, portanto, foi utilizado este

parâmetro. Enquanto a duração da precipitação foi de 30 minutos.

2.2.2. Método Racional Modificado

A expressão para o Método Racional Modificado é dada pela seguinte equação (5):

$$Q = \frac{CIA}{360} \cdot \phi \quad (5)$$

Onde:

Q = vazão máxima de escoamento, m³ s⁻¹;

C = coeficiente de escoamento superficial (Runoff), adimensional;

I = intensidade média máxima de precipitação, mm.h⁻¹;

A = área de contribuição da bacia, ha;

φ = coeficiente de retardo, adimensional.

O coeficiente de retardo é calculado como (6):

$$\phi = 0,278 - 0,00034 A \quad (6)$$

Onde:

φ = coeficiente de retardo, adimensional;

A = área da bacia, km².

2.2.3. Método Número da Curva (SN-SCS)

O método do número CN da curva de Runoff é fornecido pela Equação (7):

$$Q = \frac{(P-I_a)^2}{(P-I_a)+S} \quad (7)$$

Onde:

Q = Runoff ou chuva excedente, mm;

P = precipitação, mm;

I_a = abstração inicial, mm;

S = potencial máximo de retenção após começar o Runoff, mm.

A abstração inicial (I_a) representa todas as perdas anteriores ao início do escoamento. Incluindo a água retida nas depressões superficiais e interceptadas pela vegetação, evaporação e infiltração. Por ser um parâmetro altamente variável foi determinado empiricamente pela SCS que I_a é equivalente a: I_a = 0,2.S, onde S está associado às condições do solo e sua cobertura através do número da curva (CN). O número da curva varia em um intervalo

de 0 a 100, e se relaciona com S através da seguinte equação (8):

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (8)$$

Para determinar o CN é necessário identificar primeiramente em qual grupo o solo da área estudada está inserido. O método prevê 4 tipos de solo característicos dos EUA, porém diversos autores fizeram estudos visando adaptar a classificação hidrológica dos solos às características dos solos brasileiros. Com base na adaptação proposta por Sartori, Neto e Genovez (2005) e nos tipos de solo encontrados no município de Teófilo Otoni (Aguiar, 2017), foi adotado o grupo de solo do tipo B. Assim, o CN foi definido de acordo com a classificação do terreno (Tabela 2) e o CN médio foi definido para cada bairro nos anos de 2002 e 2022 pela média ponderada, sendo o coeficiente ponderador a área superficial.

Tabela 2 – Valores de CN adotados para cada tipo de superfície na área estudada.

Característica da superfície	CN
Solo exposto	82
Vegetação Rasteira	69
Vegetação Florestal	66
Área Impermeabilizada	98

2.3. Estimativa de erosão

A estimativa da perda do solo foi realizada a partir da Equação Universal de Perdas do Solo, conhecida como método USLE, de acordo com a equação (9):

$$A = R K L S C P \quad (9)$$

Onde:

A = perda de solo calculada por unidade de área, t ha⁻¹ ano⁻¹;

R = fator de erosividade da chuva, MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹;

K = fator de erodibilidade do solo, t h MJ⁻¹ mm⁻¹;

LS = fator topográfico, composto pelo comprimento de rampa e grau de declividade, adimensional;

C = fator de uso e manejo do solo, adimensional;

P = fator de práticas conservacionistas, adimensional.

O fator de erosividade foi obtido através do software NetErosividade MG e metodologia descrita por Moreira et al. (2008), sendo adotado

como 2331 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. O fator de erodibilidade é representado pela relação entre a intensidade de erosão e a erosividade da chuva. A definição deste fator foi feita com base nas estimativas dos valores de erodibilidade de diferentes classes de solo para o estado de São Paulo realizadas por Mannigel et al. (2008). O solo da área de estudo é composto em sua maioria da classe Podzólico Vermelho-Amarelo (Aguiar, 2017), o que equivale a um fator K de 0,0466 t h MJ⁻¹ mm⁻¹ (Mannigel et al.;2008). Na área de estudo não existem práticas conservacionistas para o controle de erosão, portanto o fator P deve receber valor unitário (Almeida et al., 2019).

O fator topográfico está relacionado às características do relevo, que infere na intensidade do escoamento superficial, e por consequência, no grau de perdas de solos. O fator LS foi obtido através da Equação (10) proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2010):

$$LS = 0,00984 C^{0,63} D^{1,18} \quad (10)$$

Onde:

LS = fator topográfico;

C = comprimento de rampa, metros;

D = fator de declividade, porcentagem.

O fator de declividade (D) foi definido a partir do mapa de declividade de Teófilo Otoni elaborado por Silva, Gomes e Gomes (2022). O mapa em questão foi georreferenciado no software ArcMap e foi obtido um fator de declividade médio de 15,75%. Para determinar o comprimento da rampa fez-se necessário estimar primeiramente a altura da rampa já que conforme Marques e Lombardi Neto (2003, p. 141), “o comprimento de rampa é obtido, então, dividindo-se a altura da rampa pelo seno de sua declividade, gerando um mapa de resultados”, deste modo, a altura da rampa foi obtida através da diferença entre as médias das duas classes de altitude mais comuns para a cidade de Teófilo Otoni, conforme mapa de elevação elaborado por Silva, Gomes e Gomes (2022). Assim, o valor encontrado para o fator topográfico (LS) foi de 6,35.

O fator C está diretamente relacionado ao uso do solo e cobertura vegetal da área de estudo. Para sua obtenção foi utilizado média ponderada das áreas das classes obtidas através do mapeamento da superfície (Figuras 2 e 3) e fatores provenientes da Tabela 3.

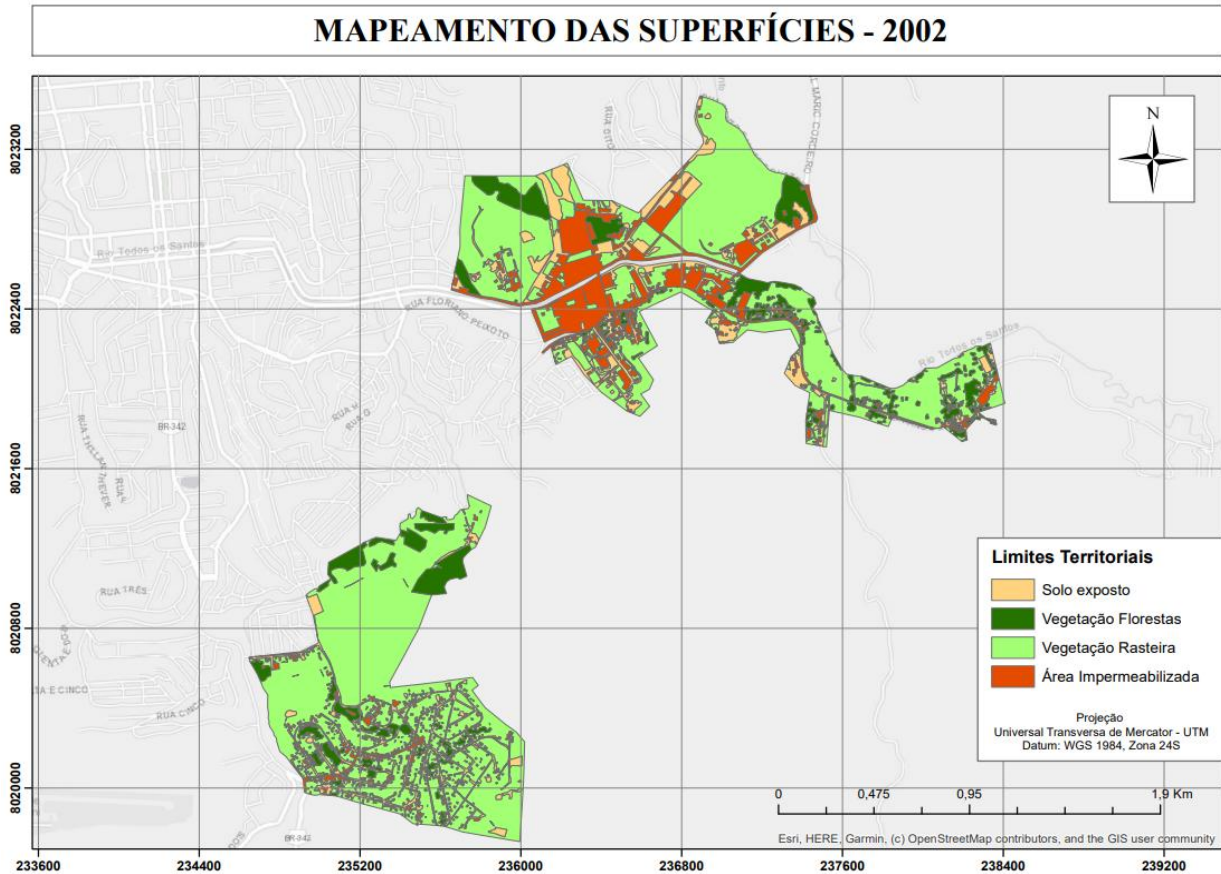


Figura 2 – Delimitação das classes de superfície no ano de 2002.

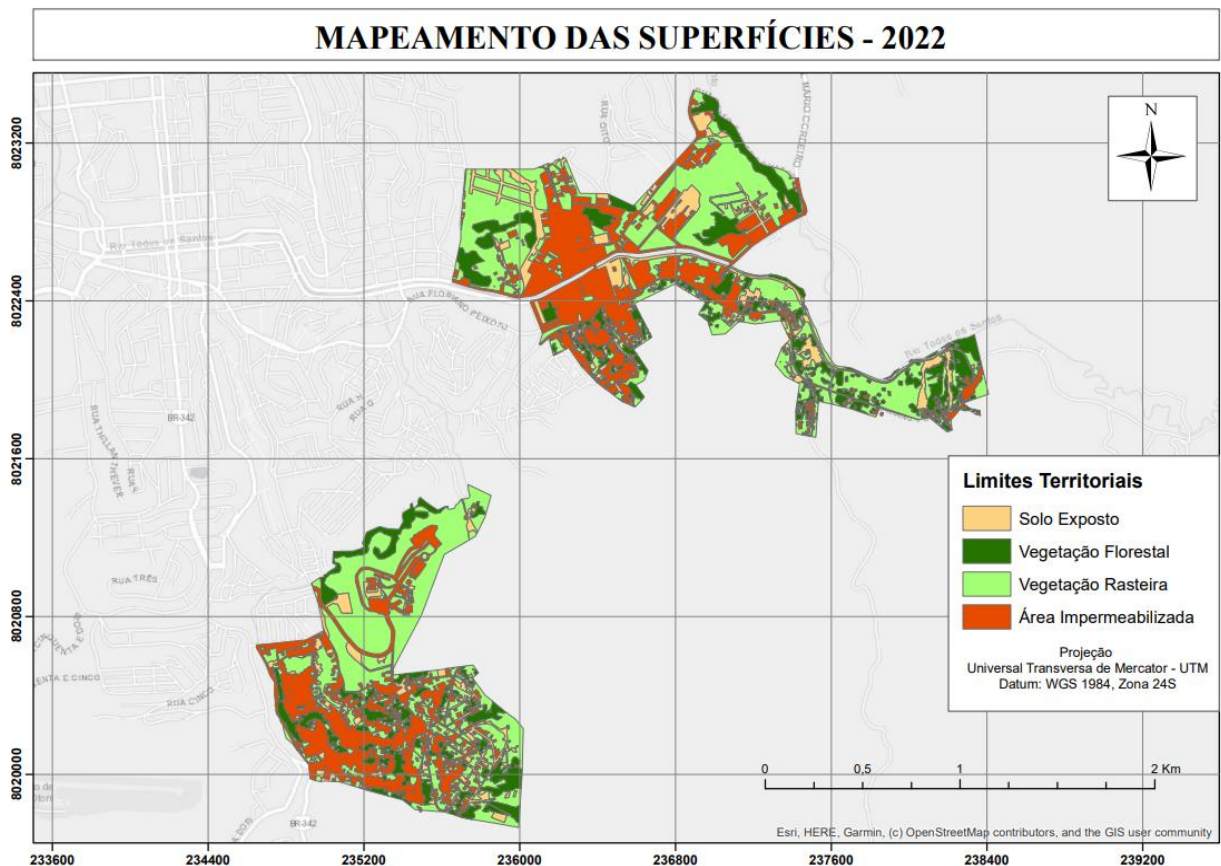


Figura 3 – Delimitação das classes de superfície no ano de 2022.

Tabela 3 – Valores de comprimento de rampa (C), adaptado de Almeida et al. (2019).

Característica da superfície	C
Solo exposto	1,000
Vegetação Rasteira	0,100
Vegetação Florestal	0,001
Área Impermeabilizada	0,00005

3. Resultados e discussão

As Figuras 2 e 3 representam o mapeamento das superfícies dos três bairros estudados nos anos de 2002 e 2022 respectivamente. A variação da área em cada classe e em cada ano pode ser observada na Tabela 4. A área impermeabilizada aumentou em todos os bairros, com aumento de 51% no bairro Castro Pires, menos afetado, e de 427% no bairro Jardim São Paulo, mais afetado. Considerando todos os bairros, o aumento médio foi de 126%.

Também, constatou-se um aumento de 46,45% na vegetação florestal na área total dos três bairros enquanto houve uma redução de 36,61% nas áreas de vegetação rasteira e de 6,38% nas áreas de solo exposto. Nunes, Fiori e Firpo (2011) analisaram a evolução da ocupação de uma bacia de 127,47 km² no estado do Paraná em um período de 38 anos e observaram uma tendência similar à do presente estudo: no período de 1962 até 1980 houve uma redução de 5,7% nas áreas de vegetação densa e de 1980 até 2000 uma recuperação de 2,9%. Em contrapartida, observaram uma redução nas demais áreas permeáveis durante todo o período. Os autores ressaltaram que ao longo do período analisado, as áreas verdes passaram a se restringir às zonas de maior altitude, onde não houve ocupação, o que evidencia que essa recuperação foi causada pelo crescimento natural da vegetação, não havendo intervenção no reflorestamento da área. Similarmente, no presente estudo, pode-se evidenciar que a causa para a recuperação da área classificada como vegetação florestal foi resultado do crescimento natural da vegetação presente nas áreas que não foram ocupadas no período de 20 anos.

3.1. Lâmina de escoamento superficial

As análises dos dados da evolução urbana nos bairros apontam uma grande mudança nas características das superfícies no período de 20 anos. Essa evolução refletiu negativamente na capacidade de absorção das águas das chuvas nas zonas estudadas, independentemente do método utilizado para a análise. Embora tenha sido observado um aumento da superfície classificada como zona de vegetação florestal (superfície de maior permeabilidade), este aumento não foi suficiente para equilibrar o impacto gerado pelo aumento das superfícies impermeabilizadas e a diminuição das superfícies com vegetação rasteira e solo exposto. A Tabela 5 apresenta os valores para a altura estimada da lâmina de escoamento, calculado utilizando o método racional e racional modificado e a Tabela 6, utilizando o método CN-SCS. O aumento médio da lâmina de escoamento superficial observado considerando todos os bairros foi de 38% pelos métodos racionais e de 57% pelo método CN-SCS.

Devido à similaridade dos métodos de cálculo (Equações 2 e 5), os métodos Racional e Racional Modificado possuem resultados proporcionais. No Método Racional Modificado é considerado um coeficiente de retardo que leva em consideração a área da bacia analisada enquanto o Método Racional tende a superestimar a vazão de projeto quando é aplicado em bacias (Martins, 2017). Assim, o Método Racional apresenta um aumento proporcional da ordem de 3,6 em relação ao Método Racional modificado (Figura 4). A mesma proporcionalidade não pode ser observada comparando os métodos racionais com o método CN-SCS (Figura 4), porém considerando uma média ponderada dos resultados, observa-se que os valores obtidos pelo método são menores que o Método Racional por uma ordem de 0,59 e maiores que o Método Racional Modificado por uma ordem de 2,11.

Tabela 4 – Áreas de cada classe de superfície por bairro nos anos de 2002 e 2022.

Superfície	Área (ha)					
	Jardim São Paulo		Castro Pires		Santa Clara	
	2002	2022	2002	2022	2002	2022
Solo exposto	8,75	8,98	13,89	11,83	7,23	7,02
Vegetação Rasteira	96,39	53,46	56,46	42,43	36,18	23,92
Vegetação Florestal	12,72	17,88	8,77	11,84	9,68	15,93
Área Impermeabilizada	8,19	43,16	26,39	39,73	8,41	14,28

Tabela 5 – Valores calculados para Coeficiente de Escoamento Médio (C), Vazão de Pico e altura estimada da lâmina de escoamento, utilizando o método racional e o método racional modificado.

Método	Bairros	Coeficiente de Escoamento Médio (C)		Vazão de Pico ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)		Lâmina de escoamento (mm)	
		2002	2022	2002	2022	2002	2022
Método Racional	Jardim São Paulo	0,28	0,46	9,86	15,92	14,08	23,20
	Castro Pires	0,40	0,48	11,78	14,18	20,10	24,12
	Santa Clara	0,32	0,37	5,48	6,35	16,03	18,70
Método Racional Modificado	Jardim São Paulo	0,28	0,46	2,74	4,42	3,91	6,44
	Castro Pires	0,40	0,48	3,27	3,94	5,58	6,70
	Santa Clara	0,32	0,37	1,52	1,76	4,45	5,19

Tabela 6 – Valores calculados para o Número da Curva Médio, Potencial de Retenção e altura estimada da lâmina de escoamento, calculado utilizando o método CN-SCS.

Bairros	Número da Curva Médio (CN)		Potencial de Retenção (mm)		Lâmina de escoamento (mm)	
	2002	2022	2002	2022	2002	2022
Jardim São Paulo	71,5	79,6	101,3	64,9	6,9	13,7
Castro Pires	77,7	81,0	72,8	59,6	11,9	15,2
Santa Clara	74,0	76,5	89,1	78,1	8,8	10,8

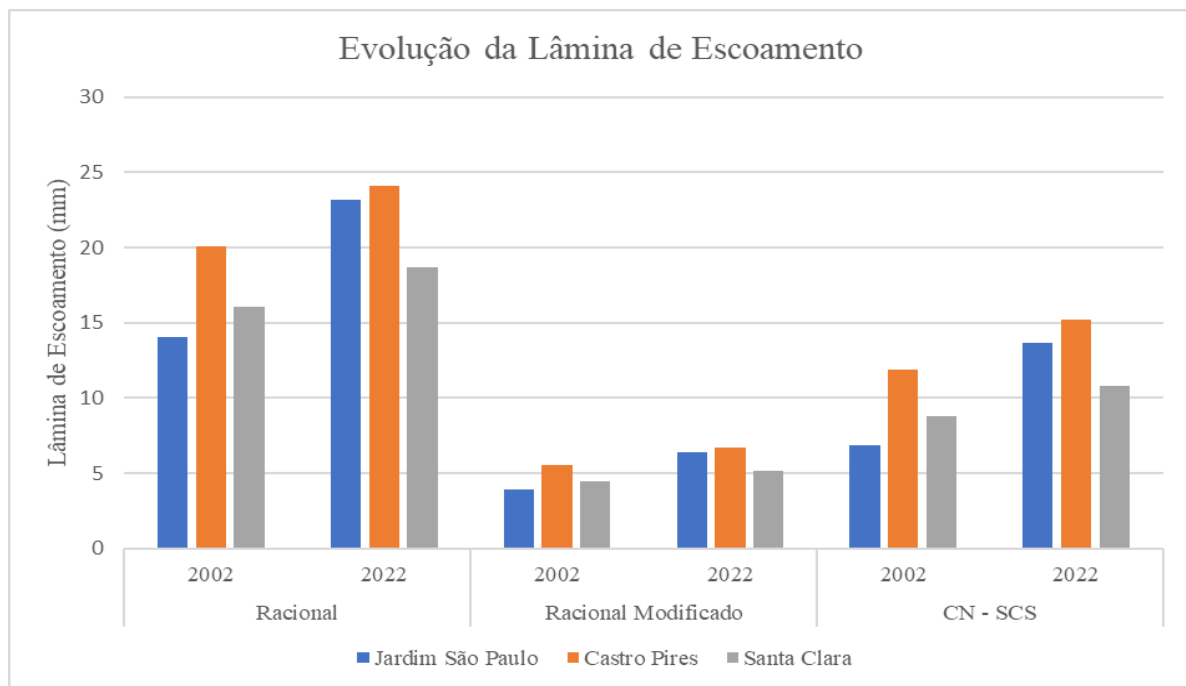


Figura 4 – Comparação da altura da lâmina de escoamento entre os bairros, calculada pelos métodos racional, racional modificado e CN-SCS.

Ainda que não seja possível concluir qual método melhor estima a lâmina de escoamento superficial, ambos apontam para um aumento no período analisado. O aumento geral da lâmina pode ser relacionado ao aumento de 126% da área impermeável. Apesar de não ser possível comparar diretamente os métodos Racional Modificado e CN-SCS, pode-se levar em consideração que o método SCS é amplamente utilizado e aceito para cálculos de lâmina de escoamento, conforme dito por

Collischonn e Dornelles (2013) e Carvalho e Rodrigues (2021).

3.2. Estimativa da erosão do solo

Os resultados obtidos através da aplicação do método USLE foram compilados na Tabela 7. As regiões apresentaram fator de erosividade abaixo da média estabelecida para o estado de Minas Gerais, que varia de 5.000 a mais de 12.000 $\text{MJ mm ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (Mello et al., 2007). Além disso, segundo

Carvalho (2008), para $R \leq 2452$ a erosividade é classificada como fraca.

Os bairros estudados apresentaram perda de solo entre 80 e 128 t ha⁻¹ ano⁻¹, o que os classificam como áreas de alta suscetibilidade à erosão de acordo com a classificação proposta pela FAO (1980) e utilizada nos estudos de outros autores como Guimarães et al. (2011) e Amaral et al. (2022). Os altos índices de perda de solo encontrados podem ser explicados pelos relevos acidentados acompanhados de declividade acentuada e o tipo de uso e ocupação do solo conforme exposto por Guedes, Viegas e Aguiar (2022). Entretanto, no período de 20 anos analisado, houve a diminuição da perda de solo em todos os bairros: 12,8% no bairro Santa Clara, 18,0% no Castro Pires e 20,4% no Jardim São Paulo (Figura 5).

Espera-se que com o aumento da lâmina de escoamento superficial haja um aumento na erosão hídrica, visto que este é responsável direto pela

desagregação e carreamento das partículas do solo. Entretanto, para a área de estudo, o aumento da lâmina de escoamento estimado para os bairros por si só não foi determinante para aumentar a erosão hídrica na região, pelo contrário, observou-se uma diminuição na perda de solo. O fator que mais contribuiu para a redução observada foi o aumento das áreas impermeabilizadas, visto que ao impermeabilizar uma área, esta deixa de ser passível de erosão. Observa-se também que houve aumento da vegetação florestal em todos os bairros, o que favoreceu a diminuição da erosão hídrica, impactando em valores mais baixos de perda de solo e nas áreas de produção de sedimentos. As áreas de solo exposto, com um alto potencial erosivo, sofreram pouca variação ao longo do tempo. As grandes mudanças superficiais que ocorreram no período estudado demonstram como o uso e a ocupação do solo exercem grande influência no processo erosivo.

Tabela 7 – Fatores da equação universal de perdas do Solo (Método USLE) por bairro e ano.

Fatores da equação universal de perdas do Solo (USLE)	Jardim São Paulo		Castro Pires		Santa Clara	
	2002	2022	2002	2022	2002	2022
Erosividade - R	2331					
Erodibilidade - K	0,0466					
Topográfico - LS	6,35					
Uso e Manejo do Solo - C	0,146	0,116	0,185	0,152	0,177	0,154
Práticas Conservação. - P	1					
Perda de Solo - A	100,7	80,1	127,8	104,8	122,0	106,4

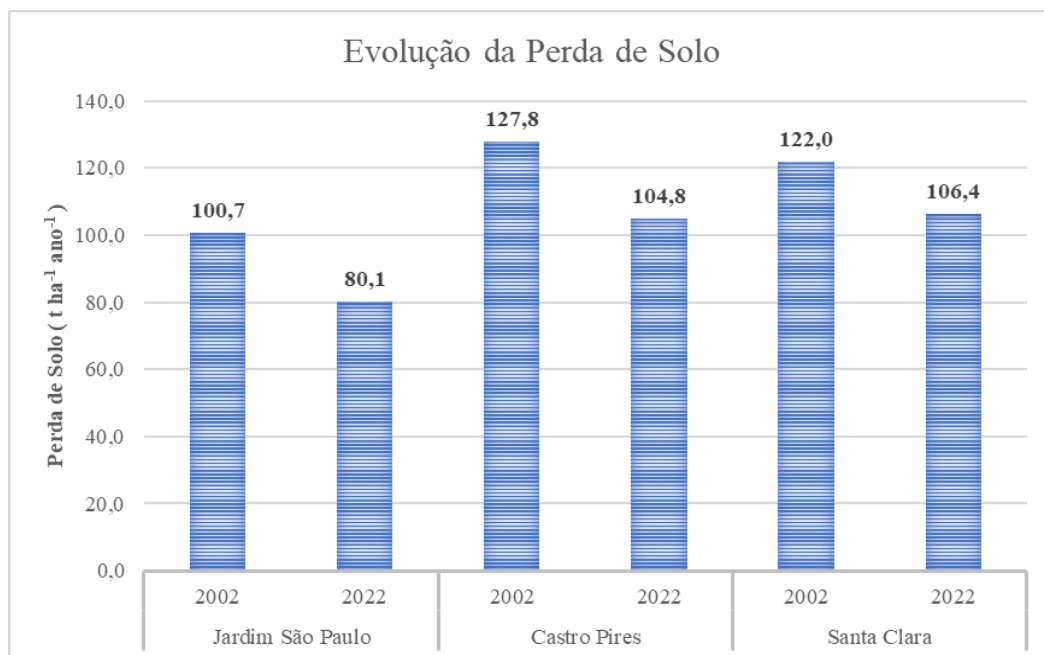


Figura 5 – Comparação da evolução da perda de solo entre os anos de 2022 e 2002 nos três bairros avaliados.

4. Conclusão

Foi possível constatar um aumento total da área impermeabilizada de 126% na área de estudo causada pela evolução urbana do ano de 2002 a 2022. Destaca-se o bairro Jardim São Paulo, onde foi registrado um aumento de 426% na sua área impermeável. Este aumento resultou em um impacto negativo referente ao escoamento das águas das chuvas, em que, pelas estimativas realizadas, resultaram em um aumento na lâmina de escoamento no período de 20 anos.

Pode-se concluir que a lâmina de escoamento superficial aumentou quando analisada em todos os métodos, embora os resultados variem de acordo com o método utilizado. O Método Racional superestima o resultado devido à ausência de um fator que leva em consideração a extensão da bacia. Por outro lado, não se pode tirar conclusões sobre as diferenças observadas nos resultados dos Métodos Racional Modificado e CN-SCS, pois ambos consideram parâmetros diferentes para a realização do cálculo, embora o método CN-SCS seja mais utilizado. As análises da lâmina de escoamento superficial mostram um aumento de 36% pelos métodos racionais e 57% pelo método de número da curva.

O resultado do método USLE para estimativa de erosão expôs a diminuição da perda de solo, ainda que tenha ocorrido o aumento da lâmina de escoamento, que está associada à segunda etapa do processo de erosão hídrica. Isso pode ser explicado pelas mudanças de uso e ocupação do solo, principalmente do aumento das áreas impermeabilizadas que não são passíveis de erosão e do aumento da vegetação florestal, diminuindo a desagregação proporcionada pelo impacto das gotas de chuva.

5. Agradecimentos

Ao Núcleo Estratégico e Interdisciplinar de Engenharia do Mucuri (NEIEMUC) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

References

Aguiar, V.L.B., 2017. *Análise De Modelo Conceitual de Simulação de Fluxo Hidrogeológico Por Meio do Método das Diferenças Finitas no Município De Teófilo Otoni - MG*. Mestrado

profissional. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

Almeida, R.A., Barbosa, A.L.G., Almeida, I.C.C. and Pinto, D.B.F., 2019. Sustentabilidade no Uso do Solo: Um Estudo de Caso da Barragem da Copasa da Cidade de Teófilo Otoni, MG. In: *XXIII Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos*, 23, pp. 1-10. Porto Alegre: ABRHidro. Disponível em <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=5939>> [Acessado 10 outubro 2023].

Amaral, L.K., Cadorin, S.B., Back, A.J., Szymanski, F.D. and Corseuil, C.W., 2022. Estimation of Soil Loss by the Usle Model in a Mountain Basin in the South of Santa Catarina State, Brazil. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 24(e20), pp.1-23. <https://doi.org/10.5902/2236117062695>

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2014. *Atlas pluviométrico do Brasil: equações intensidade-duração-frequência: município Teófilo Otoni, estação pluviográfica Teófilo Otoni (código 01741012)*. Belém: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) / Serviço Geológico do Brasil (SGB).

Bertoni, J. and Lombardi Neto, F., 2010. *Conservação Do Solo*. 7th ed. São Paulo: Ícone.

Carvalho, F. and Rodrigues, S.C., 2021. *Método Curve Number - Pesquisas e Discussões dos Parâmetros Valor CN e Abstração Inicial*. Geografia, Ensino & Pesquisa, 25(31), pp.1-50. <https://doi.org/10.5902/2236499447861>

Carvalho, N.O., 2008. *Hidrossedimentologia Prática*. 2nd ed. Rio De Janeiro: Interciência.

Collischonn, W. and Dornelles, F., 2013. *Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais*. Porto Alegre: Editora ABRH.

FAO – Food And Agriculture Organization, 1980. *La Erosión del Suelo por el Agua: Algunas Medidas Para Combatirla en Las Tierras de Cultivo*. Cuadernos de Fomento Agropecuario de la Organización de las Naciones Unidas 81. Roma: FAO.

- Ferraz, C.M.L., Valadão, R.C., Pinto, D.B.F. and Almeida, R.A., 2022. *Inundações e Alagamentos em Teófilo Otoni, Minas Gerais, Brasil, Segundo Indicadores Geomorfológicos*. Revista Brasileira de Geomorfologia, 23(4), pp. 1893-1910. <https://doi.org/10.20502/rbg.v23i4.2152>
- Guedes, F.C., Viegas, J.A. and Aguiar, M.C.P., 2022. *Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) na Bacia Hidrográfica Urbana do Córrego Carneirinhos, na Cidade de João Monlevade – MG*. Research, Society and Development, 11(7). <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i7.30094>
- Guimarães, R.Z., Lingnau, C., Rizzi, N.E., Scheichi, R.G. and Bianchi, R.C., 2011. *Espacialização da Perda de Solo por Erosão Laminar na Microbacia do Rio Campinas, Joinville SC*. RA'E GA - O Espaço Geográfico Em Análise, 23, pp. 534-554. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v23i0.24920>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. *População Estimada*. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. Estimativas da População Residente com Data de Referência 1º de Julho.
- Mannigel, A.R., Carvalho, M.P., Moreti, D. and Medeiros, L.R., 2008. *Fator Erodibilidade e Tolerância de Perda dos Solos do Estado de São Paulo*. Acta Scientiarum. Agronomy, 24, pp. 1335-1340. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v24i0.2374>
- Marques, J.F. and Lombardi Neto, F., 2003. Erosão Do Solo: Indicadores Físicos E Econômicos. In: Marques, J.F., Skorupa, L.A. e Ferraz, J.M.G. eds 2003. *Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, pp. 129-153.
- Martins, L.C., 2017. *Vazão Máxima em Pequena Bacia Hidrográfica Parcialmente Urbanizada em Uberlândia – MG*. Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia.
- Mello, C.R., Sá, M.A.C., Curi, N., Mello, J.M., Viola M.R. and Silva, A.M., 2007. *Erosividade Mensal e Anual da Chuva no Estado de Minas Gerais*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 42(4), pp.537-545. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000400012>
- Moraes, D.E., Canôas, S.S. and Cambraia, R.P., 2014. *Utilização do Sistema de Informação Geográfica para o Planejamento e Qualidade de Vida Urbana em Teófilo Otoni (MG)*. Caminhos de Geografia (UFU), 15(49), pp.113-125. <https://doi.org/10.14393/RCG154923812>
- Moreira, C.M., Pruski, F.F., Oliveira, T.E.C., Pinto, F.A.C. and Silva, D.D., 2008. *NetErosividade MG: Erosividade da Chuva em Minas Gerais*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32, pp. 1349-1353. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300042>
- Município de São Paulo, 1999. *Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos Método Racional*. São Paulo, Brasil.
- Nunes, F.G., Fiori, A.P. and Firpo, G., 2011. *Estimativa de Coeficientes de Escoamento Superficial na Bacia Hidrográfica do Rio Atuba: Curitiba e Região Metropolitana – Paraná/ Brasil*. Boletim Paranaense de Geociências, 64-65, pp. 27-39. <http://dx.doi.org/10.5380/geo.v65i0.6647>
- Santos, K.A., Rufino, I.A.A. and Barros Filho, M.N.M., 2017. *Impactos da Ocupação Urbana na Permeabilidade do Solo: O Caso de uma Área de Urbanização Consolidada em Campina Grande – PB*. Engenharia Sanitária e Ambiental, 22(5), pp. 943–952. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016146661>
- Sartori, A., Neto, F.L. and Genovez, A.M., 2005. *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, 10(4), pp.05-18. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v10n4.p5-18>
- Schwab, G.O., Frevert, R.K., Edminster, T.W. and Barnes, K.K., 1966. *Soil And Water Conservation Engineering*. 2nd ed. New York: John Wiley.
- Silva, B.A., Gomes, A.J.L. and Gomes, J.L.S., 2022. *Erosão Hídrica e Antropogênica na Formação de Voçorocas na Cidade de Teófilo Otoni*. Research, Society and Development, 11(9). <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i9.32312>