



ESTIMATIVA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL E EXPANSÃO CANAVIEIRA NA UGRHI 20 – BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO AGUAPEI, OESTE PAULISTA – SÃO PAULO, BRASIL.

Renata Pereira Prates ¹
Paulo Cesar Rocha ²

RESUMO

O estudo analisou o escoamento superficial na UGRHI 20, correspondente à bacia do rio Aguapeí, no Oeste Paulista, região estratégica para os recursos hídricos e fortemente impactada pela expansão agrícola, especialmente da cana-de-açúcar. Desde a década de 1920, a área sofre alterações ambientais significativas, como desmatamento e fragmentação do território. A região apresenta relevo de colinas e planícies fluviais e predominância de Latossolos, Argissolos e Neossolos, com diferentes capacidades de infiltração. A metodologia adotou a Equação do Curve Number (CN), baseada em dados de precipitação média entre 2002 e 2019 e na reclassificação dos solos em Grupos Hidrológicos. O ArcGIS 10.3 foi utilizado para espacializar os dados e gerar mapas temáticos relacionados ao uso e cobertura do solo. Os Latossolos apresentaram menor propensão ao escoamento superficial, enquanto Argissolos e Neossolos mostraram maior vulnerabilidade, especialmente nas áreas de monocultura. Verificou-se um aumento de áreas com escoamento classificado como forte entre 2002 e 2019, em decorrência da compactação do solo por práticas agrícolas intensivas. Esse processo reduz a infiltração da água, intensifica o escoamento e eleva o risco de transporte de sedimentos e contaminação da água. A interação entre solo, uso da terra e dinâmica hidrológica foi essencial para compreender os padrões espaciais do escoamento. O estudo contribui para a geomorfologia fluvial ao integrar variáveis naturais e antrópicas, fornecendo subsídios para o planejamento ambiental e a gestão sustentável das bacias hidrográficas.

Palavras-chave: hidrologia, monocultura, conectividade.

INTRODUÇÃO

A transformação da paisagem brasileira está fortemente ligada à apropriação e reconfiguração dos territórios pela sociedade, especialmente com a expansão da agricultura moderna. A produção de cana-de-açúcar está associada à formação e consolidação dos territórios ao longo da história econômica do Brasil. Desde o período colonial, essa cultura passou por ciclos de prosperidade e crise, influenciados por fatores da economia mundial. No Estado de São Paulo, a expansão da cana de açúcar foi impulsionada por políticas de

¹ Professora do Centro Paula Souza - CPS – São Paulo, prates.renat@gmail.com;

² Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Campus de Presidente Prudente/SP, paulo-cesar.rocha@unesp.br



desenvolvimento econômico, como o PROALCOOL, criado em 1975, que promoveu o uso do álcool como combustível. O programa ofereceu subsídios e financiamentos às usinas, favorecendo a instalação de grandes complexos agroindustriais sucroalcooleiros.

Nesse contexto, o desmatamento e a supressão da cobertura florestal que ao longo tempo foi dando espaço ao desenvolvimento das monoculturas, entre elas a cana de açúcar, provocou um efeito considerável na perda de água. A ausência da cobertura florestal, a curto prazo, reduz a perda de água do solo por transpiração, já que as raízes profundas das árvores são removidas. Ao mesmo tempo, isso provoca um aumento no escoamento superficial, visto que a antiga camada de folhas caídas que atuava como um amortecedor foi substituída pela exposição do solo. Isso, por sua vez, pode levar a um aumento no fluxo direto da água para os rios, afirma Rocha (2020).

Em áreas com monocultura, por exemplo, a compactação do solo pode ter um impacto considerável no escoamento, afetando o escoamento superficial pela superfície e alterando os padrões naturais de escoamento. Essas variações na permeabilidade do solo podem influenciar na dinâmica hidrológica e na conectividade nas áreas das Bacias Hidrográficas.

A dinâmica do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica pode ser impactada por atividades antropogênicas. Dentre elas, destaca-se o manejo da irrigação, que envolve o planejamento da quantidade, frequência e método de irrigação adequados para as necessidades das plantas, considerando fatores como as características físicas do solo, o tipo de cultura, topografia, clima e disponibilidade de água. Além disso, as alterações no uso e cobertura da terra, como o desmatamento, a transformação de áreas de vegetação nativa em áreas agrícolas, urbanas ou industriais, e as mudanças nas práticas agrícolas influenciaram na dinâmica do escoamento superficial e, conseqüentemente, na infiltração e circulação da água no solo.

Bracken e Croke (2007) destacam que a conectividade hidrológica depende de padrões espaciais e temporais, sendo influenciada pelas características físicas entre encostas e canais. Essa conexão afeta o transporte de sedimentos para os cursos d'água. Assim, identificar elementos que interferem nessa conectividade, o que permite compreender e controlar os processos de escoamento e possíveis impactos ambientais nas bacias hidrográficas

Este estudo analisou a dinâmica do escoamento superficial na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI 20), correspondente à Bacia Hidrográfica do rio Aguapeí, localizada no Oeste Paulista. A escolha dessa área justifica-se por sua relevância no contexto regional, no que se refere à gestão dos recursos hídricos, e pela crescente pressão resultante da intensificação das atividades agrícolas, com destaque para a expansão da



monocultura da cana-de-açúcar, que promove intensos processos de desmatamento e, conseqüentemente, fatores de degradação ambiental.

METODOLOGIA

Para elaborar o mapa de estimativa do escoamento superficial, utilizou-se a metodologia de Santos (2019), aplicada na UGRHI 22 – Pontal do Paranapanema. O método adotado foi o *Curve Number* (CN), que quantifica a impermeabilidade da superfície, relacionando grupos hidrológicos de solo com classes de cobertura e uso da terra da UGRHI estudada.

As informações sobre os tipos de solos foram obtidas do Mapa de Solos do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2017), escala 1:250.000, acessado via base de dados do Sistema Ambiental Paulista (DataGeo). Para adequar a análise hidrológica, os tipos de solos foram reclassificados conforme as classes do Grupo Hidrológico de Solos (GHS). Essa reclassificação seguiu a proposta metodológica de Sartori, Neto e Genovez (2005), conforme apresentado no **quadro 1**.

Quadro 1: Classificação dos grupos hidrológicos de solos para as classes de solos para as Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – 20

Grupos Hidrológicos de Solo
Grupo A
<p>Solos muito profundos (prof. > 200 cm) ou profundos (100 a 200 cm); Solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância à erosão; Solos porosos com baixo gradiente textural (< 1,20); Solos de textura média; Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo o perfil; Solos bem drenados ou excessivamente drenados; Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1; A textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: média/média, argilosa/argilosa e muito argilosa/muito argilosa</p>
Enquadra-se neste grupo o: Latossolos vermelhos
Grupo B
<p>Solos profundos (100 a 200 cm); Solos com moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância a erosão; Solos porosos com gradiente textural variando entre 1,20 e 1,50; Solos de textura arenosa ao longo do perfil ou de textura média com horizonte superficial arenoso; Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione boa macroporosidade em todo o perfil; Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1; A textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa/arenosa, arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa e argilosa/muito argilosa</p>
Enquadra-se neste grupo: Latossolos vermelho- amarelos e Neossolos quartzarênicos;

Grupo C

Solos profundos (100 a 200 cm) ou pouco profundos (50 a 100 cm);
Solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão;
São solos com gradiente textural maior que 1,50 e comumente apresentam mudança textural abrupta;
Solos associados a argila de atividade baixa (Tb);
A textura nos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa/média e média/argilosa apresentando mudança textural abrupta; arenosa/argilosa e arenosa/muito argilosa.

Enquadra-se neste grupo: Argissolos vermelho e Argissolos vermelho- amarelos

Grupo D

Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância a erosão;
Solos rasos (prof. < 50 cm);
Solos pouco profundos associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade (Ta), minerais de argila 2:1;
Solos argilosos associados à argila de atividade alta (Ta);
Solos orgânicos.

Enquadra-se neste grupo: Gleissolos Háplicos, Planossolos Háplicos, Neossolos Litólicos e Neossolos Flúvicos

Fonte: SARTORI; LOMBARDI NETO; GENOVEZ (2005, p.12)

O levantamento das informações pedológicas foi realizado conforme o mapeamento de solos do Estado de São Paulo (São Paulo, 2017). Com base nessas informações e na proposta de classificação hidrológica dos solos, a reclassificação dos solos das UGRHI 20 considerando as características dos tipos de solo (**quadro 2**).

Quadro 2: Classificação do Grupos Hidrológicos de Solos para UGHRI 20

Tipo de solo	GHS
Argissolos Vermelhos	C
Argissolos Vermelho-Amarelos	C
Latossolos Vermelhos	A
Latossolos Vermelho-Amarelos	A
Planossolos Háplicos	D
Neossolos Flúvicos	C
Neossolos Litólicos	D
Neossolos Quartzarênicos	B
Nitossolos Vermelhos	B
Gleissolos Háplicos	B

Fonte: SÃO PAULO (2017);

A espacialização dos dados foi realizada nos softwares ArcGIS 10.3 e QGIS 3.22, por meio da elaboração de mapas temáticos que permitiram a visualização e análise espacial das



informações. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) também foram utilizados para a extração de dados quantitativos, enquanto o tratamento estatístico foi conduzido nos programas *Excel* e *LibreOffice*.

A atribuição dos valores de *Curve Number* (CN) seguiu a tabela padrão do *Soil Conservation Service* (SCS), baseada em estudos empíricos sobre uso e cobertura do solo (PRUSKI et al., 2001). O mapa de escoamento superficial gerado foi classificado em cinco categorias (de 1.228 a 1.554 mm), abrangendo a UGRHI 20. Para estimar o escoamento superficial específico das áreas cultivadas com cana-de-açúcar, utilizou-se o mapa de escoamento geral em conjunto com o arquivo de delimitação das áreas agrícolas. Através da ferramenta *intersect*, foi possível isolar o escoamento nas áreas de plantio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

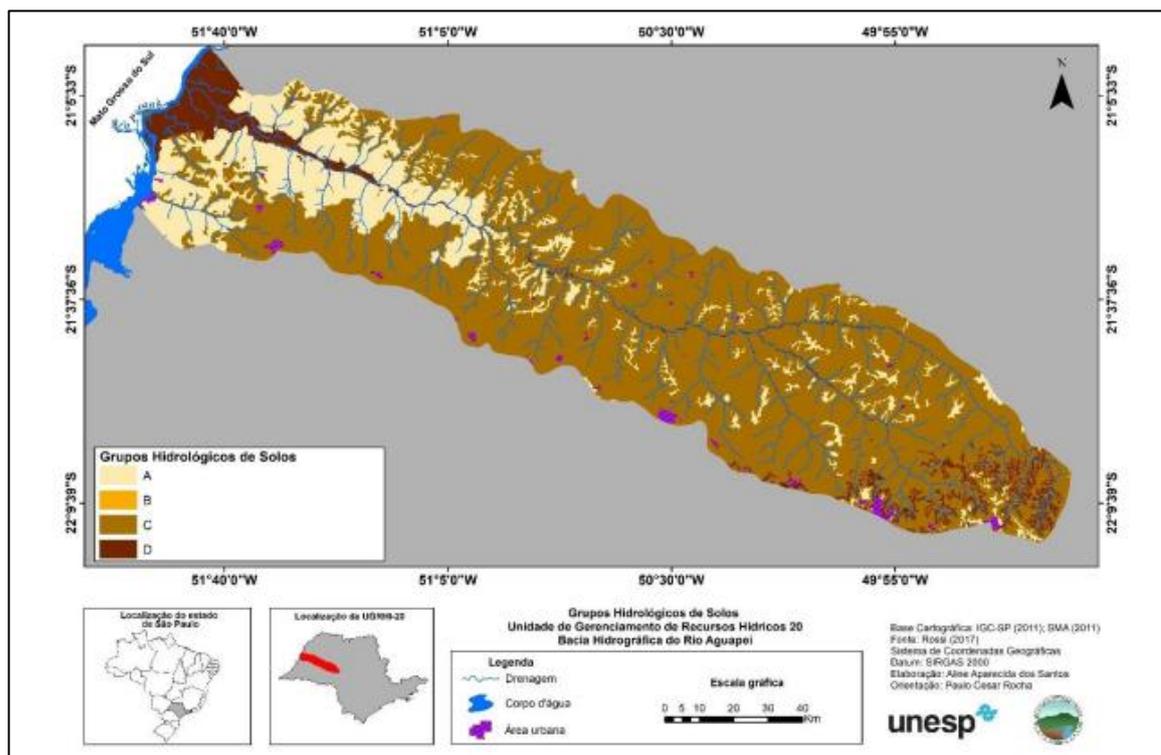
Para compreender a dinâmica do escoamento superficial na UGRHI 20, foi realizada uma análise dos solos hidrológicos, por sua função na regulação do fluxo hídrico e na interação entre águas superficiais e subterrâneas. A capacidade de infiltração dos solos determina a recarga dos aquíferos e o processo de escoamento superficial, assim como os solos com baixa infiltração contribuem para o aumento desse escoamento, potencializando o carreamento de sedimentos e poluentes, o que afeta a qualidade da água superficial.

Na UGRHI 20, que compreende a Bacia Hidrográfica do rio Aguapeí, predominam os Argissolos Vermelho-Amarelos, classificados no Grupo Hidrológico C — grupo que apresenta baixa capacidade de infiltração e maior susceptibilidade à erosão. Além dos Argissolos, há também presença relevante dos Neossolos Flúvicos, reforçando as características de solos com baixa permeabilidade, conforme observados no **mapa 01**. Essas características contribuem para aumento do escoamento superficial, o que, por sua vez, aumenta a vulnerabilidade da bacia a processos erosivos.



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA

Mapa 01: Distribuição dos Grupos Hidrológicos de Solos na UGRHI 20

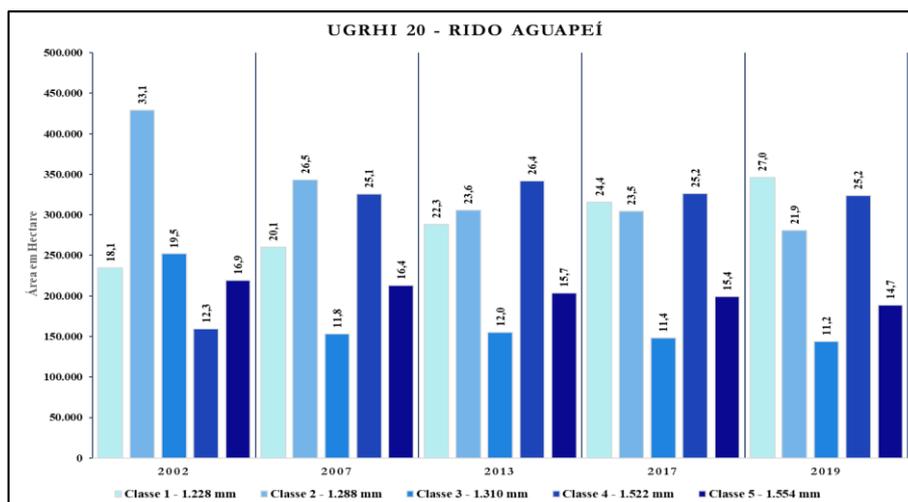


Fonte: Santos e Rocha (2021)

Os registros de escoamento superficial na UGRHI 20 – rio Aguapeí demonstram importantes variações temporais nas classes de escoamento entre os anos de 2002 e 2013, refletindo as mudanças nas condições hidrológicas e no uso do solo da região. Em 2002, predominou o escoamento fraco (33% da área), com média de 1.288 mm. A classe de escoamento médio ocupou 20% da área (1.310 mm), enquanto o escoamento muito forte foi menos expressivo, com 1.522 mm em área reduzida.

Em 2007, a distribuição entre as classes foi mais equilibrada: o escoamento fraco ocupou 27%, o médio 25% e o muito fraco 20% da bacia, enquanto a classe muito forte permaneceu em 16% da área, com aumento do índice (1.554 mm). Já em 2013, observou-se que o escoamento forte passou a predominar, abrangendo 27% da área, seguido pelas classes fraco (24%) e muito fraco (22%), como podem ser observadas no **gráfico 1**.

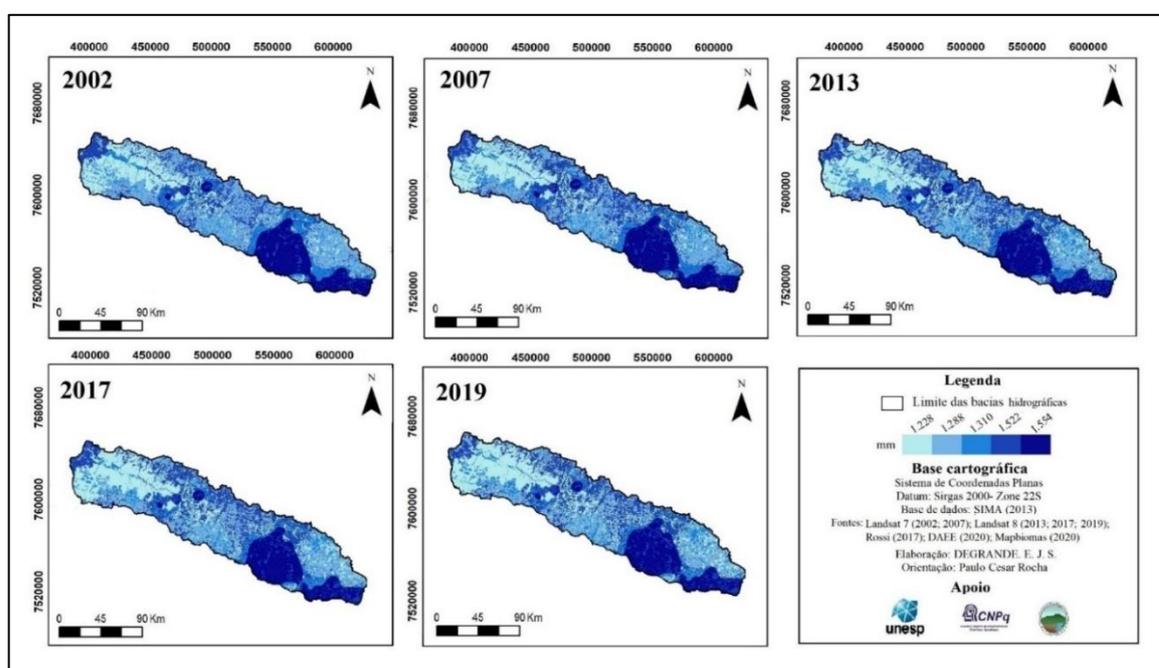
Gráfico 1: Classes e Porcentagem de Escoamento na UGHRI 20



Fonte: autores

Essa transição na predominância das classes indica uma intensificação do escoamento superficial, especialmente na porção sudeste da bacia (**mapa 2**), possivelmente associada à ocupação do solo e às características dos solos da Bacia Hidrográfica. Os resultados ressaltam a complexidade dos processos hidrológicos e a necessidade de gestão territorial integrada e sustentável na região.

Mapa 2: Estimativa de Escoamento Superficial na UGHRI 20 – Bacia Hidrográfica do rio Aguapeí



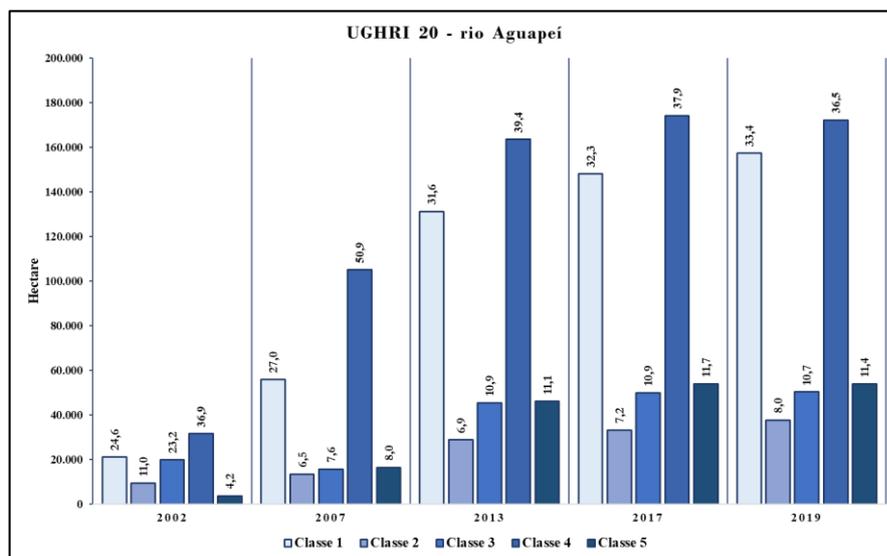
Fonte: autores

Os dados referentes aos anos de 2017 e 2019, revelam mudanças significativas nas classes e intensidades do escoamento superficial, relacionadas à presença dos Argissolos Vermelho-Amarelos. Em 2017, a classe 4 (escoamento forte) destacou-se, com 1.522 mm, abrangendo 26% da área, enquanto as classes 1 e 2 corresponderam a 24% e 23%, respectivamente. Em 2019, houve mudança no padrão: a classe de escoamento muito fraco passou a predominar, com 27% da área, seguida pela classe média (26%). As classes fraca e muito forte representaram 22% e 14%. A análise dos solos mostrou predominância de Argissolos, que, devido à sua baixa capacidade de infiltração, favorecem o aumento do escoamento superficial, conforme observados no **gráfico 2** e no **mapa 3**.

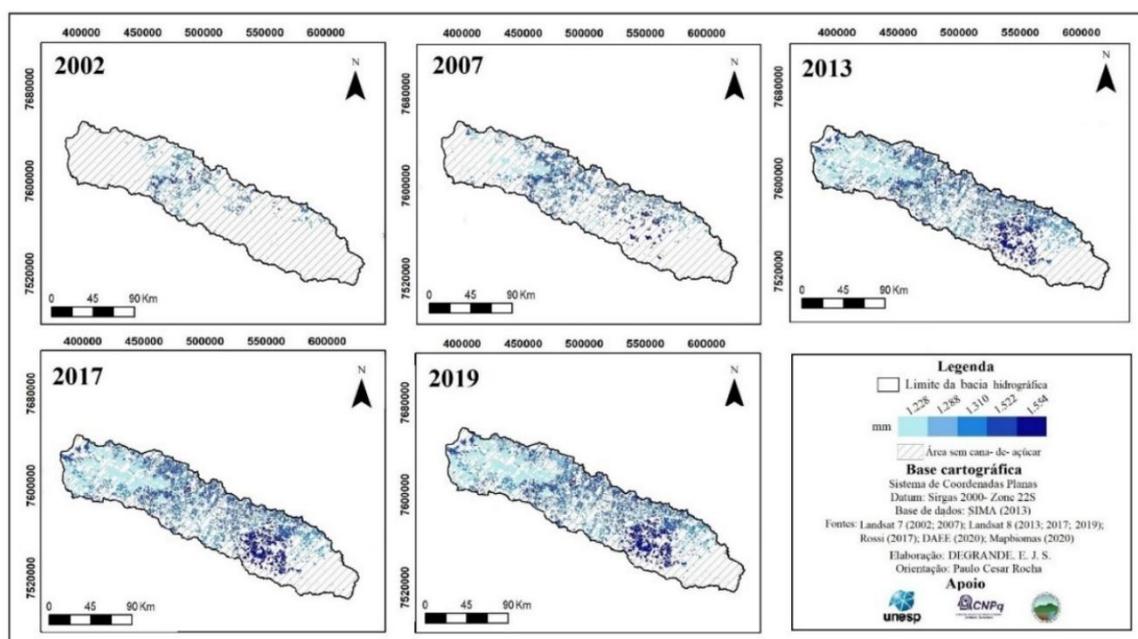
A análise das classes de escoamento superficial em áreas cultivadas com cana-de-açúcar na bacia hidrográfica do rio Aguapeí revela um crescimento significativo ao longo dos anos, diretamente relacionado à expansão da produção canavieira. Em 2002, com 85.616 hectares plantados, a classe 4 (escoamento forte) representava 37% da área, cerca de 31.619 hectares. Em 2007, a área de cultivo aumentou para 206.346 hectares, e a classe 4 passou a representar 51% da bacia, equivalente a 104.987 hectares.

Nos anos de 2013 e 2017, o padrão se manteve: a área plantada cresceu para 414.811 e 459.160 hectares, respectivamente, com a classe 4 correspondendo a 39% (163.491 ha) e 38% (174.129 ha). Em 2019, a área destinada à cana atingiu 473.574 hectares, sendo que a classe 4 continuou predominante, com 37%, ou aproximadamente 170.000 hectares.

Gráfico 2: Escoamento Superficial na UGHRI 20 nas áreas com cana-de-açúcar



Mapa 3: escoamento Superficial na UGHRI 20 nas áreas com cana-de-açúcar



Fonte: autores

A expansão da cana-de-açúcar está diretamente ligada ao aumento do escoamento superficial, causado principalmente pela compactação do solo decorrente da mecanização agrícola. Essa compactação reduz a infiltração da água, favorecendo processos erosivos e a degradação do solo. Embora a cultura seja economicamente importante, exige práticas sustentáveis de manejo. Nesse contexto, a conectividade hidrológica, entendida como as vias de fluxo de água e sedimentos dentro da bacia, é fundamental para compreender os impactos da monocultura sobre a dinâmica do escoamento superficial, influenciada por fatores geográficos, climáticos e ações humanas no Oeste Paulista.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da dinâmica do escoamento superficial na UGRHI 20 evidencia que o avanço da monocultura da cana-de-açúcar sobre áreas de vegetação nativa, contribuíram para intensificação do escoamento superficial. A predominância de solos classificados nos grupos hidrológicos C e D, como os Argissolos Vermelho-Amarelos e os Neossolos Litólicos, são solos considerados com a baixa capacidade de retenção hídrica na área de pesquisa, o que facilita o escoamento superficial da área da Bacia hidrográfica do rio Aguapeí.



O escoamento superficial na UGRHI 20, especialmente em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, apresentou crescimento ao longo do tempo, acompanhando a expansão da cultura na Bacia do rio Aguapeí. O aumento do escoamento está relacionado à compactação do solo causada pela mecanização, que reduz a infiltração e a absorção de água e nutrientes.

REFERÊNCIAS

BRACKEN, L. J.; CROKE, J. **The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff- dominated geomorphic systems.** *Hydrological Processes*, v. 21, n. 13, p. 1749 - 1763, 2007

PRUSKI, F. F.; GRIEBELER, N. P.; SILVA, D. D. Comparação entre dois métodos para a determinação do volume de escoamento superficial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v 25, n 2, Viçosa, p. 403-410, 2001.

ROCHA, P. C. Índices de apropriação do meio físico em bacias hidrográficas: conceituação e estudo de caso **In: Sustentabilidade em bacias hidrográficas: conhecimento, inovação e tecnologias em recursos hídricos.** 1 ed. Tupã-SPed: Editora ANAP, 2020, v.1, p. 139-152.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente, Instituto Florestal. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado.** Marcio Rossi. – São Paulo: Instituto Florestal, 2017. 118p. : il. color; mapas. 42x29,7 cm.

SANTOS, A. A. dos; ROCHA, P. C. Estimativa de escoamento superficial e sua relação com as mudanças de cobertura e uso da terra no Pontal do Paranapanema/SP. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 20, n. 71, p. 196–214, set. 2019. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/45448>. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/RCG207145448>. Acesso em: 01 jul. 2025.

SANTOS, A. A. dos; ROCHA, P. C. Classificação hidrológica dos solos das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos 20, 21 e 22 de acordo com o método do número da curva (CN). *Trabalho completo apresentado no Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia (ENANPEGE), Uberlândia, MG, 2021. Anais eletrônicos. Disponível em: editorarealize.com.br. Acesso em: 10 jul. 2025.*

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 (RBRH)**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, 2005. 05-18 p.