



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

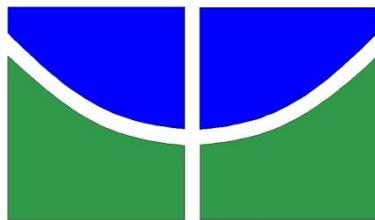
**PERDA DE ÁGUA E SOLO EM ZONA DE CARSTE RESTAURADA NOS
CERRADOS**

Alexandre Campos de Toledo

Brasília, 20 de setembro de 2022

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

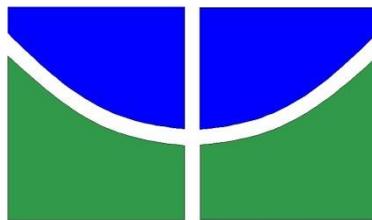
**PERDA DE ÁGUA E SOLO EM ZONA DE CARSTE RESTAURADA NOS
CERRADOS**

Alexandre Campos de Toledo

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado ao Departamento de Engenharia
Florestal da Universidade de Brasília como parte
das exigências para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Henrique Marinho Leite Chaves

Brasília-DF, 20 de setembro de 2022



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Engenharia Florestal – EFL

**PERDA DE ÁGUA E SOLO EM ZONA DE CARSTE RESTAURADA NOS
CERRADOS**

Estudante: Alexandre Campos de Toledo

Matrícula: 17/0098109

Orientador: Prof. Dr. Henrique Marinho Leite Chaves

Menção: _____

Prof. Dr. Henrique Marinho Leite Chaves
Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Orientador (EFL)

Dra. Maria Rita Souza Fonseca
Consultora
Membro da Banca

Thaiane Meira dos Santos
Secretaria de Meio Ambiente - SEMA/DF
Membro da Banca

Brasília-DF, 20 de setembro de 2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente ao professor Henrique Chaves pela oportunidade de ser o seu orientado, e à Doutora Maria Rita Fonseca pela grande ajuda e também oportunidade de continuar um grande trabalho de sua vida. E a toda equipe do Departamento de Engenharia Florestal, como diversos outros professores que participaram da minha vida, como a Fabrícia.

Agradeço aos meus amigos, Bianca, Geisson, Tauany, Rebeca, Yohana e Walmir que juntos enfrentamos cada dificuldade ao longo destes cinco anos. Mas principalmente a força que conseguimos criar com o “Algeta” e “As Guerreira” por passarmos por cada perrengues inimagináveis.

Agradeço a minha família, Nathylhusca, Élide, Casalberto e Hidekay por estarem disponíveis por todas as ajudas, por todo dia-a-dia, pelos momentos de risadas e descanso que são essenciais na minha trajetória.

Agradeço as diferentes oportunidades de estágio que me levaram a conhecer novas áreas, estudos e pessoas incríveis, chefes maravilhosos que sempre levarei com carinho, à equipe da GECOF do Serviço Florestal, Kênia, Henrique, Paulo, Júlio, Nívia, à equipe da Ecoflor, à equipe da Câmara dos Deputados, Henrique, Eliane, André, Miller, Renata e agora à equipe da CADMO engenharia, todos que participaram dessa jornada.

Agradeço a minha fiel guerreira de todos dias, Jéssica Bilac, por todos nossos momentos, de risadas a desesperos, que sem ela não teria conseguido. Uma pessoa incrível, que estará sempre participando de todas minhas conquistas e derrotas.

Agradeço a todas as pessoas que já passaram pela minha vida durante esse período, mesmo que não tenham conhecimento deste trabalho, sempre saberei a importância que vocês tiveram. Me ajudaram de diferentes formas, desde os motoristas dos ônibus, o RU da UnB e ao Governo Federal, todos que me possibilitaram viver em uma sociedade funcional.

E, por fim, dedico este trabalho ao meu grande esforço, ao longo de tantas emoções do dia-a-dia, com grande resiliência, paciência e dedicação, quase tudo se torna possível.

*Do not go gentle into that good night,
Old age should burn and rave at close of day;
Rage, rage against the dying of the light.*
(Dylan Thomas)

RESUMO

Toledo, Alexandre Campos (Toledo, A. C.) **PERDA DE ÁGUA E SOLO EM ZONA DE CARSTE RESTAURADA NOS CERRADOS**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

O escoamento superficial e a erosão do solo, se superarem valores toleráveis, podem gerar importantes consequências ambientais e socioeconômicas, dentro (*on-site*) e fora (*off-site*) das propriedades. Em regiões cársticas, esses processos são particularmente relevantes, em função de sua vulnerabilidade, podendo levar à desertificação, e à redução da recarga e da qualidade da água. O objetivo geral do presente trabalho foi avaliar a perda de água em Neossolos Litólico e Quartzarênico, e o comportamento hidrossedimentológico de uma área de carste ecologicamente restaurada, bem como realizar o balanço hídrico do solo. O estudo foi realizado em parcelas de enxurrada (USLE) na região de Mambáí-GO, sob três coberturas de solo: exposto (N. Litólico), restaurado com espécies nativas durante quatro anos (N. Litólico), e Cerrado natural (N. Quartzarênico). No quarto ano após a restauração, a precipitação total foi de 1.494,8 mm e a erosividade da chuva de 8.692,8 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. O escoamento superficial na parcela de solo exposto foi de 917,3 mm ano⁻¹ e a média nas parcelas restauradas com nativas foi de 720,7 mm ano⁻¹. A perda de solo média na parcela exposta foi de 98 Mg ha ano⁻¹ e de apenas 4,9 Mg ha ano⁻¹ nas parcelas restauradas. No caso do Cerrado natural, os valores do escoamento anual e da perda de solo foram 14,1 mm ano⁻¹ e 6,7 Mg ha ano⁻¹, respectivamente. Nas parcelas restauradas, fator C da USLE passou de 0,44 no primeiro ano após a restauração para 0,05 no 4º. ano. A tolerância à perda de solo *on-site* (4,9 Mg ha ano⁻¹) foi superada nos primeiros 3 anos de restauração e igualada no 4º. Ano (N. Litólico). No caso do Cerrado natural (N. Quartzarênico), a perda de solo ficou abaixo da tolerância nos quatro anos analisados. O balanço hídrico do solo indicou que, com a restauração ecológica, haveria uma redução do escoamento superficial e um aumento da evapotranspiração, contribuindo para o restabelecimento dos serviços hidroambientais originais da região.

Palavras-chave: Perda de Solo; Escoamento Superficial; Balanço hídrico e Restauração ecológica

ABSTRACT

Toledo, Alexandre Campos (Toledo, A. C.) **WATER AND SOIL LOSS IN A RESTORED KARST AREA IN THE CERRADO**. Monograph (Forest Engineering Degree) – University of Brasília, Brasília, DF.

If excessive, surface runoff and soil erosion can generate important on-site and off-site consequences. In karst regions, these processes are particularly relevant, due to their vulnerability, which can lead to desertification, and to the reduction of recharge and water quality. The objective of this work was to evaluate the soil and water losses in Litholic and Quartzarenic Neosols, and the water balance of an ecologically restored karst area. The study was carried out in runoff plots (USLE) in the region of Mambáí-GO, under three soil covers: bare, restored with native species (Litholic Neosols), and Natural Cerrado (Quartzarenic Neosols), after four years of restoration. In the fourth year after restoration, the total precipitation was 1.494,8 mm and the rain erosivity was 8.692,8 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. Surface runoff in the plot of bare soil was 917.3 mm year⁻¹ and 720.7 mm year⁻¹ in the restored plots. Soil loss in the bare plot was 98 Mg ha year⁻¹ and only 4.9 Mg ha year⁻¹ in the restored plots. In the case of the natural Cerrado, annual runoff and soil loss values were 14,1 mm ano⁻¹ and 6,7 Mg ha ano⁻¹, respectively. In the restored plots, the C factor of the USLE dropped from 0.44 in the first year after restoration to 0.05 in the 4th. year. On-site soil loss tolerance (4.9 Mg ha year⁻¹) was surpassed in the first 3 years in the restored plots restoration and equaled in the 4th. Year. In the case of the natural Cerrado (Quartzarenic Neosol), erosion was below soil loss tolerance in the four years analyzed. The soil water balance indicated that, with ecological restoration, there would be a reduction in surface runoff and an increase in evapotranspiration, contributing to the restoration of the region's hydro-environmental services.

Keywords: Soil Loss; Surface runoff; Water balance and Ecological restoration of a karst area.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema Aquífero Urucuia	19
Figura 2 - Parcelas de enxurrada P0, P1, P2, P3 e P4.	21
Figura 3 - Parcela P5 contendo área de floresta nativa Cerrado.....	22
Figura 4 - Projeto da calha com caixas d'água.	22
Figura 5 - Amostras de 1L de água com sedimentos das parcelas P0, P1, P2, P3 e P4	24
Figura 6 - Amostras de solo com água secando em mesa secadora	24
Figura 7 - Beckers com amostras de solo secas.....	25
Figura 8 - Média do volume de escoamento para o quarto ano hidrológico.	29
Figura 9 - Coeficiente CN calibrado no quarto ano hidrológico.	29
Figura 10 - Escoamento normalizado pela precipitação anual, no quarto ano hidrológico.....	30
Figura 11 - Escoamento normalizado pela precipitação anual nos quatro anos hidrológicos..	30
Figura 12 - Perda de solo anual no quarto ano hidrológico.....	31
Figura 13 - Perda de solo anual nos quatro anos hidrológicos.....	31
Figura 14 - Perda de solo normalizada no quarto ano hidrológico.....	32
Figura 15 - Perda de solo normalizada nos quatro anos hidrológicos.	32
Figura 16 - Evolução da USLE C-factor nas parcelas restauradas (P1-P4).	33
Figura 17 - Tolerância de perda de solo e erosão das parcelas P0-P5 para o quarto ano hidrológico.....	33
Figura 18 - Balanço hídrico do quarto ano hidrológico, normalizado pela precipitação.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cobertura de solo em cada parcela de estudo	20
Tabela 2 - Espécies nativas plantadas nas parcelas de recuperação (P1-P4).....	21
Tabela 3 - Características dos solos das parcelas	23
Tabela 4 - Precipitação e erosividade nos três primeiros anos hidrológicos	28
Tabela 5 - Precipitação e erosividade no quarto ano hidrológico.....	28
Tabela 6 – Perda de solo nos quatro anos hidrológicos.....	32

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - APA das Nascentes do Rio Vermelho	18
Mapa 2 - Bacia hidrográfica do Rio Vermelho (a) e Área de estudo (b)	19

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo geral	15
2.2	Objetivos específicos.....	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
4	MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1	Área de estudo	18
4.2	Parcelas de enxurrada.....	20
4.3	Amostragem e processamento.....	23
4.4	Precipitação, escoamento superficial e perda de solo	25
4.5	Coefficiente de Escoamento Superficial.....	26
4.6	Balanço hídrico do solo	27
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1	Precipitação e escoamento superficial	28
5.2	Perda de solo	31
5.3	Perda de solo e tolerância à erosão.....	33
5.4	Balanço hídrico do solo	34
6	CONCLUSÕES.....	35
7	REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

O solo é considerado um recurso de grande importância em âmbito global, pois é utilizado para atender às necessidades da população mundial, principalmente habitação e alimentação, onde, habitação está em uma relação com o homem atemporal e a alimentação a maior necessidade particular e coletiva (RATZEL, 1983).

Seu uso para fins agronômicos formulou a sociedade, fornecendo água e nutrientes para o desenvolvimento das plantas. Mas podemos considerar o solo como um recurso não renovável, principalmente em relação aos seus nutrientes (ANDREOLI; ANDREOLI; JUSTI JUNIOR, 2014).

O solo possui uma capacidade em exercer suas funções na natureza, como regular o fluxo de água, estocar e promover a ciclagem de elementos, tampão ambiental, atenuação e degradação de compostos prejudiciais ao meio ambiente (KARLEN et al., 1997; LARSON; PIERCE, 2015).

Cerca de 45% dos solos mundiais encontram-se afetados em algum nível de degradação, devido ao uso intensivo e alterações do regime climático (GARDI et al., 2015). A erosão do solo é um processo geomorfológico considerado um dos maiores causadores de degradação do solo. Nesse sentido, o uso do solo e seu desgaste são fatores que aumentam o processo de erosão, principalmente pelo uso extensivo (MORGAN, 2005).

A erosão pode ocorrer por fatores naturais, como nível de erodibilidade do solo, características da encosta e da cobertura vegetal. No entanto, as atividades humanas desenvolvidas de maneira inadequada aceleram a ocorrência de processos erosivos ligados ao escoamento superficial e subsuperficial, resultando na degradação do solo (OSMAN, 2014).

A pastagem se mostra de grande influência para a suscetibilidade à erosão dos solos, aumentando quando combinado com alta erodibilidade ou alta declividade. Em microbacias, esse tipo de manejo se mostra o principal motivador da degradação em cerca de 30% das bacias analisadas (SANTOS; PEREIRA CALDAS; SILVA, 2019).

O processo de erosão afeta os corpos hídricos através de sedimentos oriundos da fragmentação do solo e escoamento superficial causado pela chuva. O acúmulo de sedimentos nos rios causa o processo de assoreamento, diminuindo a vazão e como consequência a diminuição da disponibilidade de água (MORAIS; FLEISCHMANN; RUHOFF, 2017).

A textura do solo também influencia em sua erodibilidade, os que apresentam maior conteúdo de argila contêm maior suscetibilidade à erosão, sendo proporcionais ao conteúdo de areia + silte (DEMARCHI; PIROLI; ZIMBACK, 2019).

É comum que a erosão ocorra em encostas onde a declividade é superior a 3° e taxas de transporte de sedimentos variando entre alta, média e baixa ao longo da encosta, de acordo com suas características, interações e outros fatores controladores (MORGAN, 2005).

Por se tratar de um desequilíbrio no sistema água/solo/cobertura vegetal, a energia da chuva passa a ser aplicada na superfície de maneira que ultrapassa o limite de resistência do cisalhamento, iniciando-se uma transferência de matéria por processos de desestabilização de agregados que começam a ser depositados nas zonas mais rebaixadas (GUERRA; SILVA; BOTELHO, 1999).

É possível observar as consequências do processo erosivo em áreas a jusante de bacias hidrográficas, destacando-se o assoreamento de rios e lagos, contaminação das águas, acentuação de defeitos de inundação, entre outros (GUERRA; CUNHA, 2008).

Em períodos de elevado índice pluviométrico é quando a manutenção da cobertura vegetal se faz ainda mais necessária, visando evitar a desagregação e transporte de partículas pelo processo de erosão acelerada (DEMARCHI; PIROLI; ZIMBACK, 2019).

Este estudo apresenta a coleta, tratamento e avaliação das amostras do quarto ano hidrológico da região de Mambaí-GO, inicialmente instalada e monitorada em seus três primeiros anos para a Tese de Doutorado de Maria Rita Souza Fonseca.

Sendo o primeiro ano de instalação e monitoramento em 2018, conduzindo o estudo em primeiro ano hidrológico em 2018-2019, segundo ano hidrológico em 2019-2020 e terceiro ano hidrológico em 2020-2021 pela Doutora Maria Rita Souza Fonseca.

E nesta monografia foi realizada a coleta, amostragem e processamento das amostras de perda de água e solo em zona de carste restaurada nos Cerrados em seu quarto ano hidrológico 2021-2022, no período entre outubro de 2021 e abril de 2022.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente estudo visou avaliar as perdas de água e de solo em área restaurada de carste nos Cerrados, bem como o balanço hídrico no solo, após quatro anos de restauração ecológica, com espécies nativas.

2.2 Objetivos específicos

- Quantificação da perda de solo em diferentes coberturas de solo;
- Avaliação das taxas de erosão comparada com as tolerâncias de perda de solo;
- Balanço hídrico do solo em diferentes processos de restauração; e
- Mensuração do coeficiente de escoamento superficial (CN) e o fator C (USLE).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Carste pode ser definido como um terreno com hidrologia distinta que surge de uma combinação de alta solubilidade de rocha, porosidade secundária e fratura (FORD; WILLIAMS, 2007).

As zonas de carste englobam 10 a 15% da superfície terrestre (FORD; WILLIAMS, 2007). Carste é encontrado em rochas mais solúveis, como calcário, mármore e dolomito (WILLIAMS, 2008). Aproximadamente 25% da população mundial vive no carste ou é diretamente afetada por sua hidrologia diferencial (TRAVASSOS, 2019).

Reconhecendo a estrutura desta área cárstica, o escoamento superficial pode ser obtido com a instalação de parcelas de enxurrada que são universalmente utilizadas para avaliar a erosão de sulcos, em áreas naturais e agrícolas (RENARD; FOSTER, 1985; WISCHMEIER; SMITH, 1978).

Um das técnicas mais utilizadas para estimar o volume de escoamento é o método de Curva Número (CN), uma função do uso e cobertura da terra, condições hidrológicas, grupo hidrológico do solo e condições de umidade antecedente (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

A erosão do solo pode ser caracterizada de duas formas, de acordo com seus impactos ambientais, sendo eles impactos internos (*on site*) e externos (*off site*) em relação ao local de origem. No geral, a literatura considera que os impactos externos são maiores que os correspondentes internos (WISCHMEIER; SMITH, 1978). O processo de erosão-sedimentação causa efeitos que variam desde a perda de nutrientes do solo até a alteração da microfauna (MARQUES, 1998).

A Equação Universal de Perdas de Solo – USLE (WISCHMEIER; SMITH, 1978) é um modelo que consegue estimar a perda de solo anual em vertentes, com simplicidade e exatidão os quais promovem uma aplicação universal (TÁNAGO, 1991).

Dentro da equação da USLE existem diversos fatores que formam a equação, sendo eles o de erosividade (R), erodibilidade (K), comprimento da encosta (L), declive (S), cobertura e manejo (C) e práticas conservacionistas (P) (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

O Fator C para a USLE é aquele que se refere a gestão do uso de solo em uma determinada área, sendo o principal fator para avaliar a cobertura do solo, pois representa o efeito do manejo de solo na redução da erosão hídrica (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Assim, a Equação Universal de Perdas de Solo em conjunto com as estratégias de conservação (P) subsequentes foram formuladas com base nos resultados das parcelas de escoamento superficial (KINNELL, 2019).

A tolerância de perda de solo em vertentes do Cerrados, pode variar de 4 a 12 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (CHAVES, 2010). Os quais dependem de características como a profundidade e a relação textural dos horizontes superficiais (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

O balanço hídrico tem como principal função a classificação climática, sendo uma das formas de se monitorar a variação do armazenamento de água no solo (COSTA, 1994). Um dos primeiros modelos conhecidos foi desenvolvido em 1948 (THORNTHWAITE, 1948), e tinha como objetivo caracterizar o clima de uma determinada região, posteriormente esse modelo foi modificado (PEREIRA, 2005), passando a ser usado para determinar o local que a exploração de uma cultura possa ser realizada com eficácia.

Por meio do balanço hídrico se constrói a análise contábil do monitoramento de água no solo, onde são estimados valores de evapotranspiração real, deficiência e do excedente do armazenamento de água no solo, essas informações são adquiridas a partir de dados de precipitação e de demanda atmosférica (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997).

A qualidade da água em uma bacia hidrográfica tem relação direta com o grau de equilíbrio ou desequilíbrio dos parâmetros antrópicos e naturais da área que a circunda (SPERLING, 2007).

No período entre 1995 e 2017 apenas na região denominada de Assentamento do Carimã, localizado no bioma Cerrado, houve a perda de 22% da cobertura vegetal, que foi causada pela expansão agropecuária, em especial pela introdução da cultura de grãos (ALVES et al., 2020). Esse tipo de impacto tem relação direta com os processos que prejudicam os sistemas fluviais e a biodiversidade, sendo o processo que mais influencia esses sistemas é a erosão, causada pela modificação do solo (PEREIRA; BOTELHO; ALVARENGA, 2006).

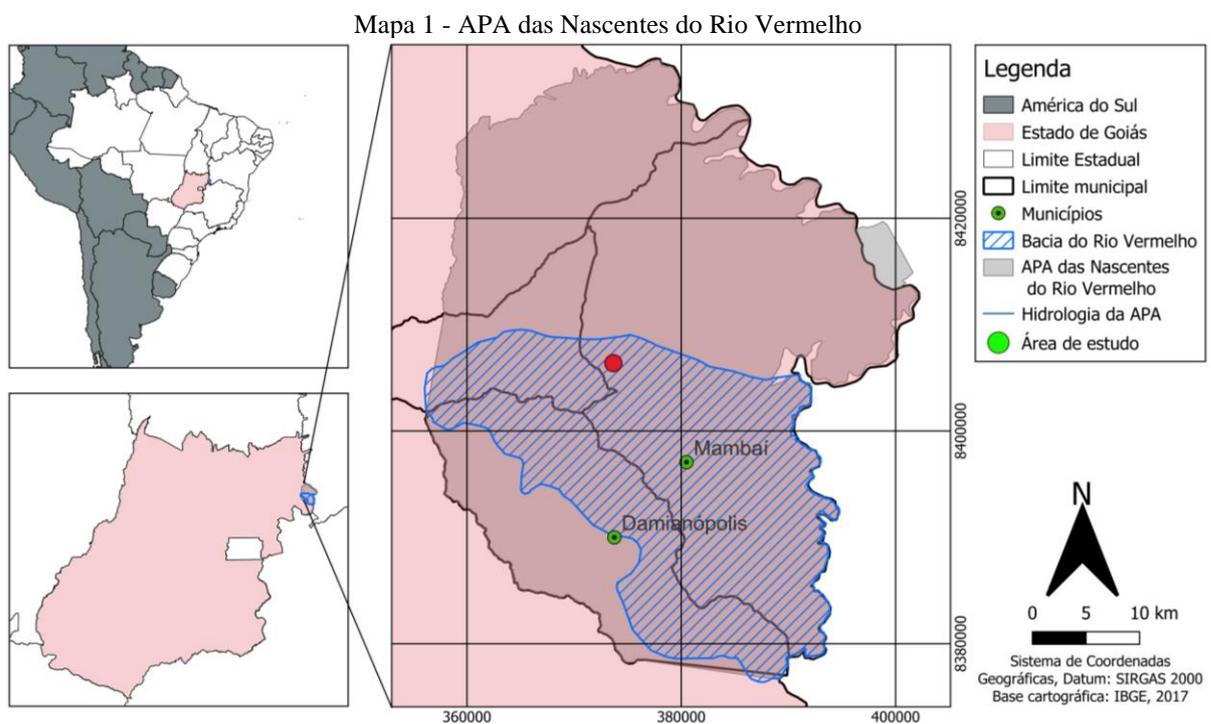
Ao longo de décadas, o desenvolvimento rural e urbano requer uma gestão dos aspectos econômicos, sociais e ambientais dos recursos hídricos brasileiros, como o pagamento por serviços ambientais (PSA). Entende-se por PSA, as transferências financeiras de beneficiários de serviços ambientais para aqueles que fornecem esses serviços, garantindo práticas que conservam a natureza de forma segura e bem definida (WUNDER, 2005).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

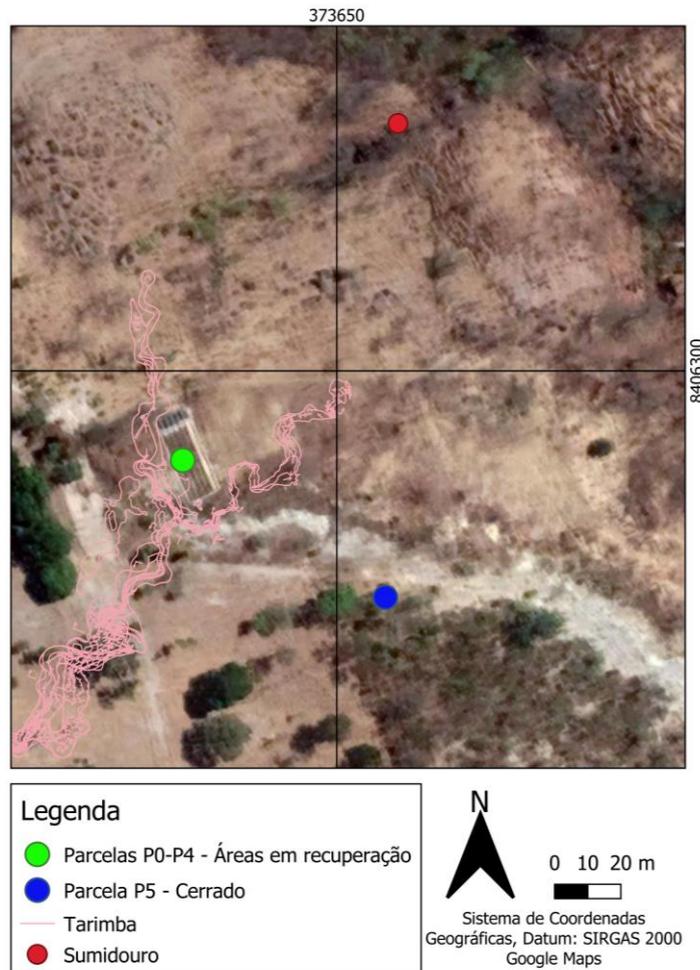
O presente estudo foi realizado na Área de Proteção Ambiental Nascentes do Rio Vermelho - APA-NRV (Mapa 1), próximo à cidade de Mambai na região nordeste do estado de Goiás (Mapa 2).

O clima da região se caracteriza por ser tropical com índice pluviométrico entre 1200 e 1500mm por ano (DIEGO NASCIMENTO; GIULIANO NOVAIS, 2020).



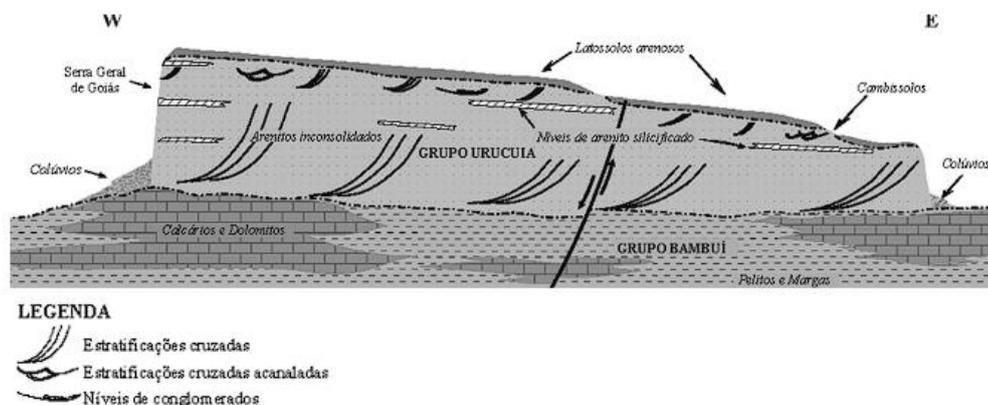
A área do experimento está sobre a Gruna da Tarimba, que é uma das maiores cavernas da região (CALDEIRA et al., 2021), e recebe o sedimento da área fonte da dolina situado à jusantes das parcelas experimentais.

Mapa 2 - Área de estudo



A geomorfologia da região se dá pelo Chapadão Central, composta pela porção superior Grupo Urucuiá, sendo formada de arenitos que possuem sedimentos siliciclásticos não consolidados. E sua porção inferior formada de rochas pelíticas intercaladas com os carbonatos (TAVARES et al., 2021).

Figura 1 - Sistema Aquífero Urucuiá



Fonte: Mapa de localização do Sistema Aquífero Urucuiá (GASPAR; CAMPOS, 2007).

Os principais tipos de solos presentes são: Cambissolo háplico (0,9%), Latossolo amarelo (5%), Neossolo Litólico (9%) e Neossolo Quartzarênico (85%) (SANTOS, 2015).

O Aquífero Urucuia é uma fonte estratégica de água para o abastecimento da população de projetos de irrigação, sendo necessário atenção às áreas de recarga devido ao uso agrícola intenso (GASPAR; CAMPOS, 2007). Trata-se de uma área onde a demanda por outorga hídrica de água subterrânea para uso de lavouras é crescente, uma vez que há um limite legal máximo outorgável dos rios da região (SILVA et al., 2005).

4.2 Parcelas de enxurrada

Para a quantificação da perda de solo em diferentes coberturas de solo foram analisadas seis parcelas de enxurrada. As seis parcelas de enxurrada são compostas de calhas com dimensões de 22,1 m de comprimento e 1,80 m de largura (Figura 1) com uma área total de 39,78 m² (YOULTON; BRAGION; WENDLAND, 2016).

Cada parcela obteve uma cobertura de solo diferente, conforme apresentado na tabela 1, sendo a P0 para solo exposto sem restauração, semeadura direta sem proteção por juta (P1 e P3) e com proteção (P2 e P4). E uma parcela exclusiva para a vegetação florestal nativa Cerrado (P5).

Tabela 1 - Cobertura de solo em cada parcela de estudo

Parcelas	Cobertura de solo
P0	Solo exposto
P1-P3	Semeadura direta sem proteção por juta
P2-P4	Semeadura direta com proteção por juta
P5	Vegetação florestal nativa Cerrado

A restauração ecológica das parcelas ocorreu em setembro de 2018, recebendo os processos de micro perfuração (COUTO et al., 2010) com 30 buracos/m², processo de adubação verde e plantio direto de espécies savânicas conforme detalhado na Tabela 2 (FONSECA, 2022).

Tabela 2 - Espécies nativas plantadas nas parcelas de recuperação (P1-P4)

(Continua)

Árvores
Pau Santo - <i>Kielmeyera speciosa</i>
Ipê Caraíba Amarelo - <i>Tabebuia Aurea</i>
Jacarandá Bico de Papagaio - <i>Machaerium acutifolium</i>
Guatambu do Cerrado - <i>Aspidosperma macrocarpum</i>
Tingú - <i>Magonia pubecens</i>
Aroeira Preta - <i>Myracrodruon urundeuva</i>
Amburana - <i>Amburana cearenses</i>

Tabela 2 - Espécies nativas plantadas nas parcelas de recuperação (P1-P4)

Arbustos	Gramíneas
Assa Peixe - <i>Vernonanthura</i> sp.	<i>Andropogon fastigiatus</i>
Capaibinha - <i>Copaifera</i> sp.	
Amargoso - <i>Lepdaploa aurea</i>	

Fonte: Espécies nativas plantadas nas parcelas em recuperação (P1-P4) (FONSECA, 2022).

Todas as espécies introduzidas sobreviveram depois de 4 anos de experimentos, sendo o capim amargoso (*Lepdaploa aurea*) e o stylosanthes (*Stylosanthes* sp.) dominantes. Através da observação pelo método de Cline (1944) ocorreu um acréscimo de 65% no fim do terceiro ano de estudo, como observado por Fonseca (2022).

A Figura 2 representa o primeiro momento de implementação do projeto, não apresentando a recuperação vegetal.



Figura 2 - Parcelas de enxurrada P0, P1, P2, P3 e P4.

A parcela P5 (Figura 3) foi instalada em uma área de Cerrado não perturbado, com árvores que variam de 3 a 8 metros de altura, arbustos e gramas (FONSECA, 2022).



Figura 3 - Parcela P5 contendo área de floresta nativa Cerrado.

No final de cada calha com 11% de declividade foram implementadas duas caixas d'água de 1000 litros cada, com uma calha redutora de zinco e um cano de PVC de 75mm na extremidade (Figura 3). Para não haver a entrada de água na calha de enxurrada, elas foram separadas com aço galvanizado de 50cm, sendo 25 cm enterrados no solo.

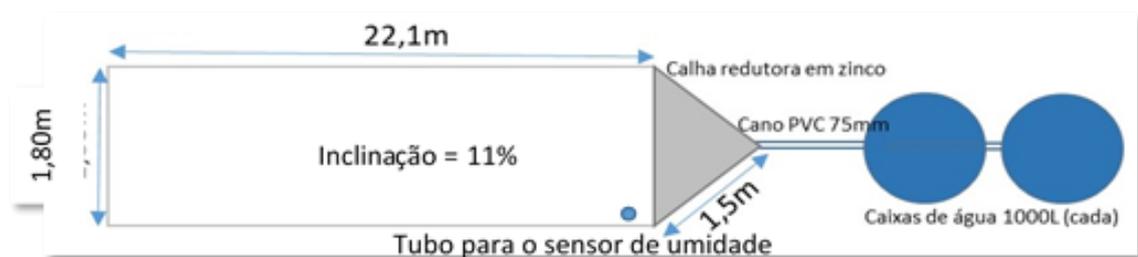


Figura 4 - Projeto da calha com caixas d'água.

A calha reteve toda água com sedimentos, sendo a enxurrada coletada em um período quinzenal e em um prazo menor quando houve a presença de chuvas de grandes volumes consecutivas. Quando a água armazenada chega ao nível limite da primeira caixa d'água, ocorre o transbordo da água para a seguinte. Para a coleta dos sedimentos, cada caixa d'água foi agitada com ajuda de um bastão, obtendo uma melhor homogeneidade das amostras.

As parcelas P0-P4 foram instaladas sob solo Neossolo Litólico derivado de pelito, e a parcela P5 sobre Neossolo Quartzarênico (Tabela 3).

Tabela 3 - Características dos solos das parcelas

Parcelas	Tipos de Solo	Profundidade (cm)	Textura (%)			Classe	NRCS Grupo Hidrológico
			Areia	Silte	Argila		
P0-P4	Neossolo Litólico	15	63,83	31,46	4,71	Areno Argiloso	C
		40	41,28	50,25	8,47	Argiloso	
		70	25,34	66,13	8,53	Areno Argiloso	
P5	Neossolo Quartzarênico	20	93,04	6,07	0,89	Arenoso	A
		40	93,87	5,15	0,98	Arenoso	
		70	92,77	6,11	1,12	Arenoso	

Fonte: Características do solo das áreas A (P0-P4) e B (P5) (FONSECA, 2022).

4.3 Amostragem e processamento

Os dados de precipitação utilizados para a presente análise foram coletados ao longo de sete meses entre outubro de 2021 e abril de 2022. Nesse sentido, a presente análise envolveu o tratamento desses dados no laboratório de Geoquímica da UnB, para realizar a separação e pesagem das amostras de solo.

Na ocasião, a coleta da precipitação, escoamento e perda de solo ocorreu a cada 15 dias, exceto em situações onde havia grande volume de chuva. A primeira coleta foi obtida no dia 15 de outubro de 2021, resultado da primeira chuva após período de estiagem pelo auxiliar de campo que reside na região, sendo armazenada, reunida com outras amostras e transportada até a Universidade de Brasília.

No estudo dos três primeiros anos hidrológicos ocorreram 15 mensurações no primeiro ano, 18 no segundo ano, 19 no terceiro ano (FONSECA, 2022) e 23 no quarto ano hidrológico.

No caso da coleta de escoamento é realizada a mensuração, medindo o nível de água dos tanques coletores (BAGARELLO; FERRO, 2010). Calculado em cada parcela pela razão entre o volume total dos dois tanques e a área total da área:

$$Q = \frac{V}{A_p}$$

Onde: Q (mm) = unidade de volume de escoamento no período; V(L) = volume de escoamento no período; e A_p (m²) = área do terreno.

Para a perda de solo, as amostras de água foram obtidas em ambos os tanques após uma agitação com um bastão (BAGARELLO; FERRO, 2004). Através da inserção de uma garrafa de 1 litro, promovendo o armazenamento da proporção de todo sedimento (Figura 5).



Figura 5 - Amostras de 1L de água com sedimentos das parcelas P0, P1, P2, P3 e P4

No laboratório ocorreu a separação e pesagem dos sedimentos, cada amostra foi colocada em beckers de vidro de 1 L para secagem em mesa secadora (Figura 6). O processo ocorreu durante 20 a 24 horas na temperatura de 120°, permitindo a separação dos sedimentos da água (Figura 7).



Figura 6 - Amostras de solo com água secando em mesa secadora



Figura 7 - Beckers com amostras de solo secas

4.4 Precipitação, escoamento superficial e perda de solo

Após a secagem das amostras foi possível a raspagem dos beakers para quantificar a perda de solo, sendo calculada pelo produto da concentração de sedimentos e o volume de escoamento nos tanques coletores (ANACHE et al., 2018).

$$Ps = C * \frac{V}{A_p}$$

Onde: Ps ($Mg\ ha^{-1}$) = perda de solo no período analisado; C ($g\ L^{-1}$) = concentração de sedimento na amostra; V (L) = volume de escoamento dos tanques da parcela no período; e A_p (ha) = área da parcela.

Para eliminar a influência da precipitação nos quatros anos experimentais e isolar os efeitos de recuperação do solo, o escoamento anual e a perda de solo foram normalizados através da precipitação anual e erosividade da chuva anual. Portanto, o escoamento superficial foi normalizado em cada parcela (FONSECA, 2022).

$$Q_n = 100 * \frac{Q}{P}$$

Onde: Q_n = normalização do escoamento (%), Q = escoamento anual ($mm\ ano^{-1}$); P = precipitação anual (mm).

No caso da perda de solo, o valor anual foi normalizado através de (FONSECA; UAGODA; CHAVES, 2021):

$$A_n = 100 * \frac{A}{R}$$

Onde: A_n = perda de solo normalizado ($t \text{ ano}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ h}$); A = perda de solo ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); R = erosividade da chuva ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

A erosividade da chuva de cada ano hidrológico foi obtida usando a equação regional do tipo Fournier, baseado na precipitação mensal e anual (SILVA, 2004).

$$R = 12.592 * \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{M_i^2}{P} \right)^{0,603}$$

Onde: R = Erosividade da chuva anual ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ hr}^{-1}$) M_i = precipitação mensal (mm), P = precipitação anual (mm).

A efetividade da cobertura vegetal na erosão das parcelas P1-P4, foi associada com o fator USLE-C (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

$$C_i = \frac{A_i}{A_0}$$

Onde: C_i = Fator USLE-C (0-1) por cobertura i ; A_i = perda de solo anual na parcela coberta i (Mg ha ano^{-1}); A_0 = perda de solo anual na parcela descoberta (Mg ha ano^{-1}).

A taxa de erosão anual nas parcelas de escoamento foi comparada com a correspondente tolerância de perda de solo, para avaliar o grau de degradação de permanência por erosão (CHAVES, 2010). Os valores de tolerância de perda de solo para o solo Litólico e Quartzarênico foram retirados do livro Conservação do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

4.5 Coeficiente de Escoamento Superficial

O coeficiente CN para cada parcela, no período entre duas amostragens, foi obtido pela equação (NRCS, 2004):

$$Q = \frac{(P - 0,2 * S)^2}{(P + 0,8 * S)}$$

Onde:

$$S = \left(\frac{25,400}{CN} \right) - 254$$

Onde: Q = superfície de escoamento superficial (mm); P = volume da precipitação (mm); S = fator de abstração (sem dimensão); CN = número-curva (0-100, sem dimensões).

4.6 Balanço hídrico do solo

O balanço hídrico do solo foi realizado para cada parcela, baseado na mensuração da precipitação, escoamento superficial, e nos dados de retenção de água no solo. O período de balanço hídrico foi de 15 dias, entre as amostragens consecutivas de precipitações e escoamento. O balanço hídrico foi calculado pela seguinte equação (BROOKS; FFOLLIOTT; MAGNER, 2013):

$$P - (Q + E_{tr} + Q_p) - (ISM - FSM) = 0$$

Onde: P = volume de precipitação entre mensurações (mm); Q = escoamento de superfície entre coletas; E_{tr} = evapotranspiração atual (mm); ISM = umidade inicial do solo; FSM = umidade final do solo; Q_p = percolação profunda (mm).

A atual evapotranspiração foi estimada pela seguinte equação (BROOKS; FFOLLIOTT; MAGNER, 2013):

$$E_{tr} = \min (E_{t0} * K_c; P + ISM)$$

Onde: E_{Tr} = atual evapotranspiração (mm); E_{To} = evapotranspiração potencial (mm); K_c = coeficiente de cultura; P = precipitação no período (mm); e ISM = umidade inicial do solo.

A potencial evapotranspiração foi calculada usando a equação entre mensurações sucessivas (HARGREAVES; SAMANI, 1985):

$$E_{To} = N * 0,0023 * R_g * (T_{med} + 17,8) * (T_{max} - T_{min})^{1/2}$$

Onde: E_{To} = potencial de evapotranspiração no período entre coletas (mm); N = número de dias do mês; R_g = radiação solar média (mm day^{-1}); T_{med} = temperatura média ($^{\circ}\text{C}$); T_{min} = temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$). Os dados climatológicos para o cálculo do E_{To} foram obtidos da estação do INMET de Posse, localizada a 10 km da área de estudo.

Os valores de K_c foram estimados em 0,5 para a parcela descoberta (P0) (ALLEN RICHARD G. et al., 2005), e 1 para as parcelas com vegetação (P1-P5) (WIGHT; HANSON, 1990).

O valor inicial da umidade do solo (ISM) foi mensurado em outubro, início do ano hidrológico, através de amostras entre 0 e 60cm, correspondendo a ¼ do valor da capacidade de retenção de água. O valor final da umidade do solo (FSM) foi calculado pela seguinte equação (BROOKS; FFOLLIOTT; MAGNER, 2013):

$$FSM = \min[(P + SRC - Q - Etr); SRC * Dt]$$

Onde: SRC = capacidade de retenção de água no solo (mm m^{-1}); Dt (m) = profundidade média da raiz. O valor de SRC para os dois solos foi obtido em laboratório, pelas curvas de retenção de água, a partir de amostras com profundidade de 0-60 cm (GARDNER, 1986).

$$SRC = Fc - Wp$$

Onde: Fc = teor de água na capacidade de campo (0,33 bar); e Wt = teor de água no ponto de murcha (15 bar), ambos obtidos em laboratório (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006) . A percolação profunda nas parcelas (Qp) foi calculada pela seguinte equação (BROOKS; FFOLLIOTT; MAGNER, 2013):

$$Q_p = P + ISM - Q - ETr - FSM$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Precipitação e escoamento superficial

O volume de chuva e erosividade causada pela chuva no quarto ano hidrológico foi maior do que dos três primeiros anos hidrológicos. No entanto, quando mensurado apenas os três primeiros anos, os maiores valores foram aqueles registrados no segundo ano hidrológico (Tabela 4).

Tabela 4 - Precipitação e erosividade nos três primeiros anos hidrológicos

Ano hidrológico	Precipitação (mm)	Erosividade ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$)
2018-2019	1.223,6	7.440,0
2019-2020	1.295,1	7.746,0
2020-2021	935,5	6.694,1

Fonte: Precipitação e erosividade nos três anos hidrológicos (FONSECA, 2022).

Como consequência do alto volume de chuvas, a precipitação e erosividade apresentou valores recordes (Tabela 5).

Tabela 5 - Precipitação e erosividade no quarto ano hidrológico

Ano hidrológico	Precipitação (mm)	Erosividade ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$)
2021-2022	1.494,8	8.692,8

As Figuras 8 e 9 apresentam o volume médio de escoamento (Q) e a média calibrada dos coeficientes de escoamento (CN), para o quarto ano hidrológico. A Figura 10, por sua vez, mostra o escoamento normalizado pela precipitação anual das parcelas.

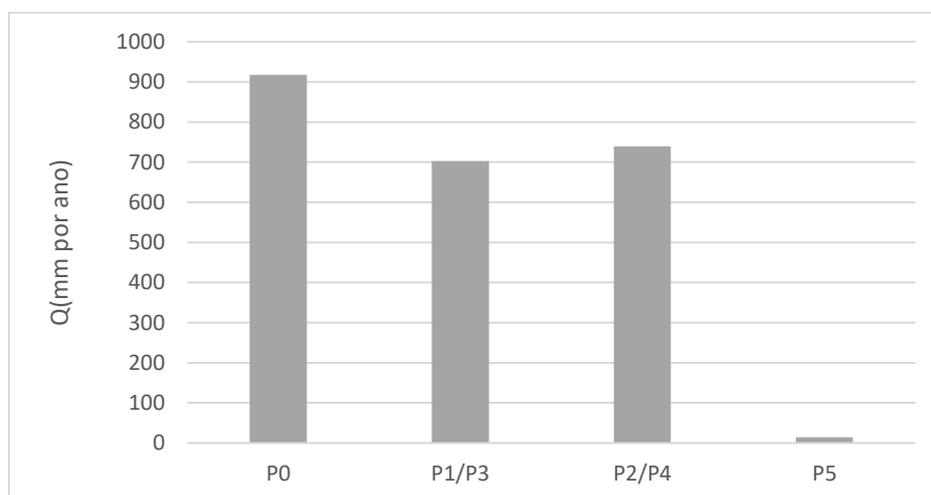


Figura 8 - Média do volume de escoamento para o quarto ano hidrológico.

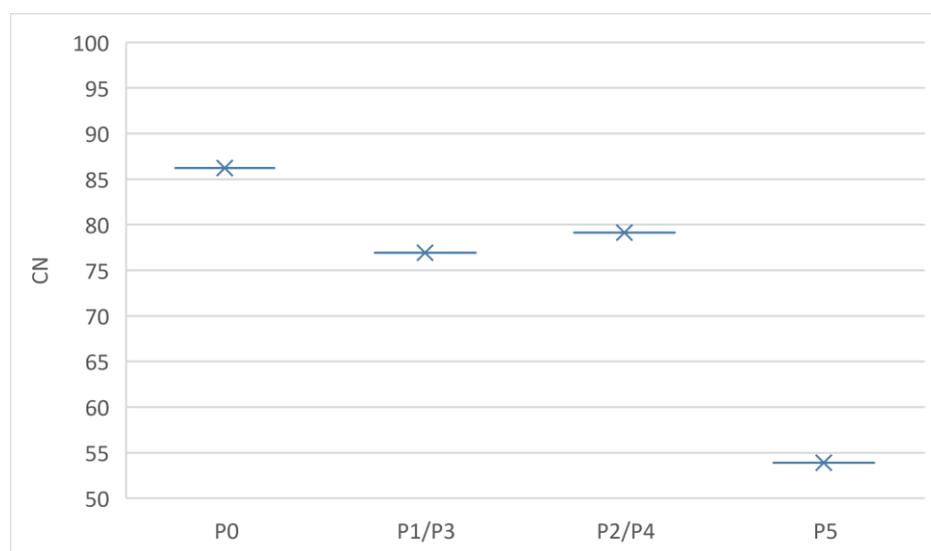


Figura 9 - Coeficiente CN calibrado no quarto ano hidrológico.

Comparando os valores da Figura 8 e Figura 9, com os três primeiros anos hidrológicos obtidos por Fonseca (2022), manteve-se o decréscimo da P0-P5. Mesmo com os altos índices de pluviosidade do último ano hidrológico, o escoamento superficial e o CN mantêm o padrão já analisado.

Os valores de CN nas parcelas P1/P3 (sem juta) e P2/P4 (com juta) não apresentam diferenças significativas, mas comparadas com as demais P0 e P5, houve diferença, mantendo o comportamento dos três primeiros anos hidrológicos.

Seguindo o fato reportado por Fonseca, anteriormente, observou-se que a mudança na cobertura do solo, mesmo em área de restauração, foi um fator essencial para diminuir o escoamento superficial da água.

Na Figura 10, quando normalizado pela precipitação, a parcela P0, solo exposto, aumentou de 0,58 (terceiro ano hidrológico) para 0,61 (quarto ano hidrológico), acompanhando o comportamento de crescimento, conforme analisado por Fonseca (Figura 11), evoluindo desde o primeiro ano hidrológico.

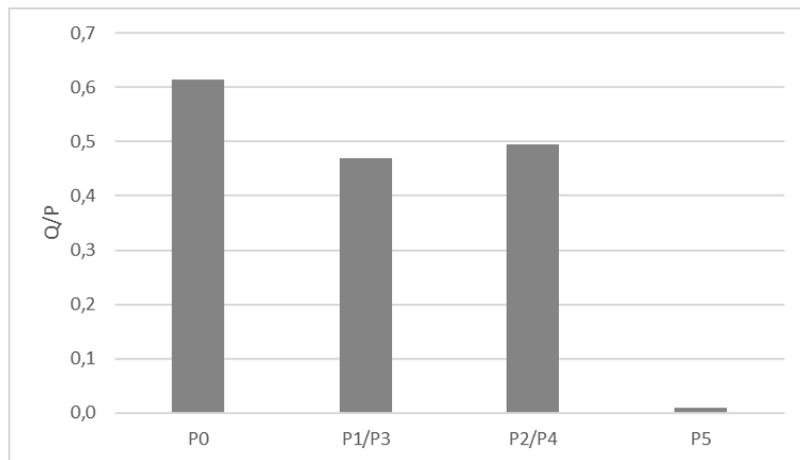


Figura 10 - Escoamento normalizado pela precipitação anual, no quarto ano hidrológico.

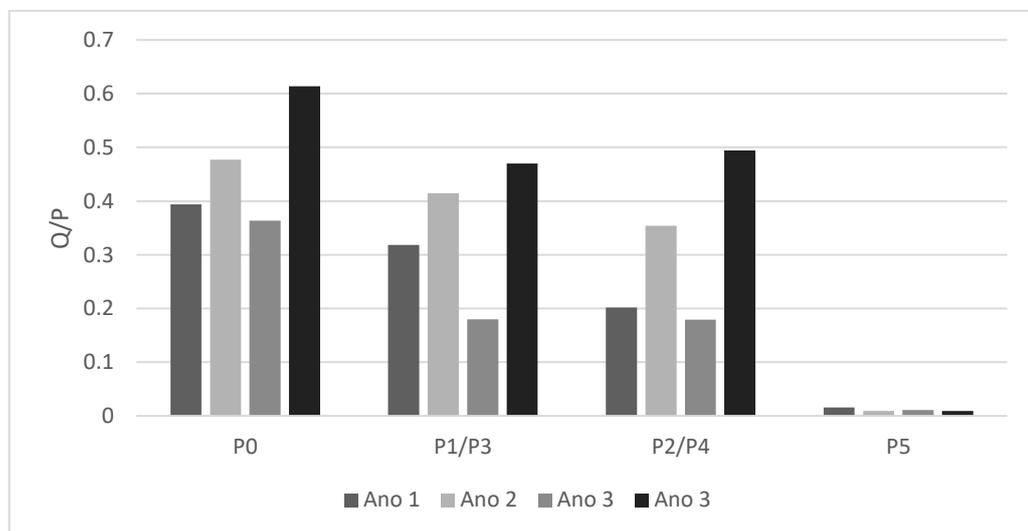


Figura 11 - Escoamento normalizado pela precipitação anual nos quatro anos hidrológicos.

Já para as parcelas em restauração (P1-P4), houve uma oscilação nos valores de escoamento anual, tendo seus maiores valores registrados no quarto ano hidrológico. Para a P5, cerrado nativo (N. Quartzarênico), o valor de Q se manteve próximo de zero. Os valores de Q/P indicam que ambas as parcelas restauradas sem juta (P1/P3) e com juta (P2/P4) contribuíram igualmente para o aumento da infiltração e redução do escoamento superficial.

5.2 Perda de solo

A perda de solo anual (A) do quarto ano hidrológico está apresentada na Figura 12, a qual alcançou a máxima de 98,6 Mg ha ano⁻¹ para a parcela de solo exposto (P0). Mantendo o comportamento com a maior perda de solo entre os quatro anos hidrológicos (Figura 13).

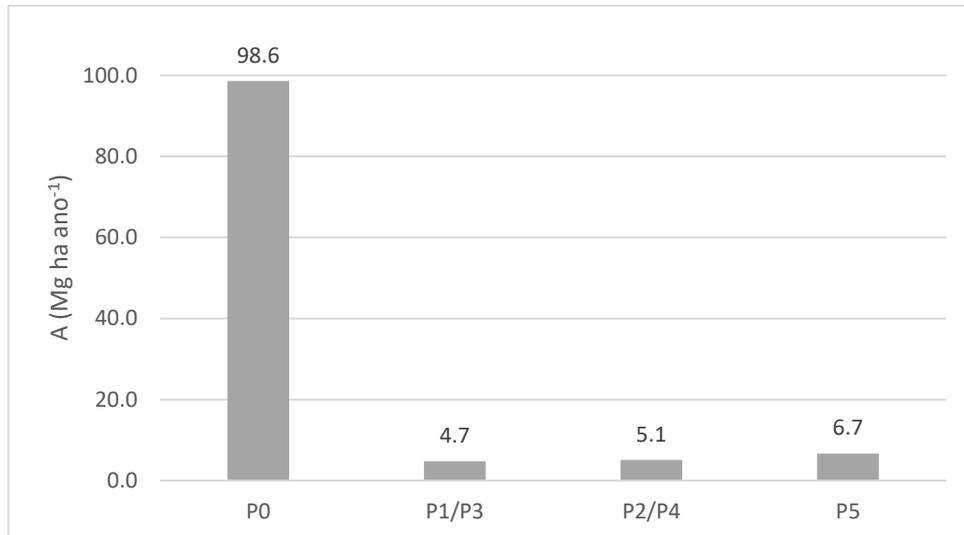


Figura 12 - Perda de solo anual no quarto ano hidrológico.

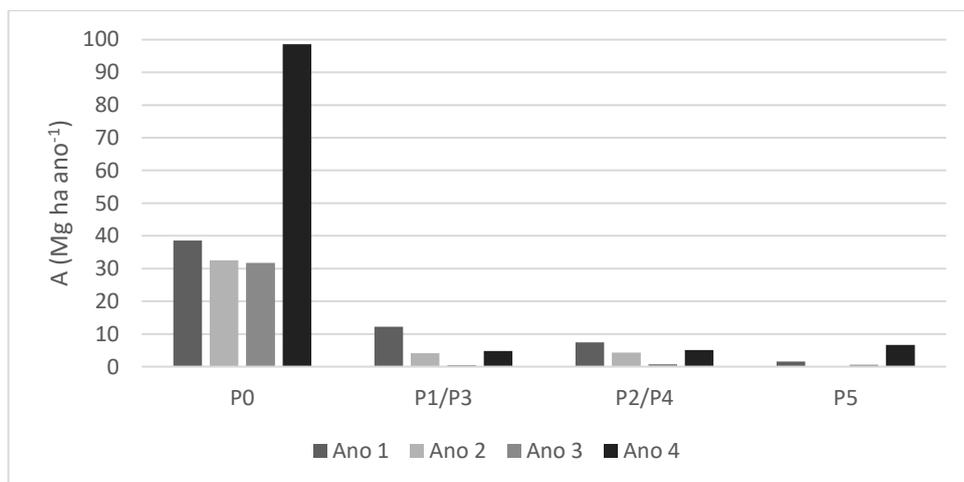


Figura 13 - Perda de solo anual nos quatros anos hidrológicos.

O grande volume de chuvas do quarto ano hidrológico afetou o comportamento hidrossedimentológico de todas as parcelas, mas manteve o padrão já observado por Fonseca.

É apresentado, através da Tabela 6, que a parcela de Cerrado nativo (P5) alcançou o valor de 6,7 Mg ha ano⁻¹, já a parcela de solo exposto (P0) apresentou perda de 98,6 Mg ha ano⁻¹, sendo que o maior valor registrado na P0 por Fonseca nos três primeiros anos hidrológicos foi de 38,6 Mg ha ano⁻¹. As parcelas em restauração sem juta (P1/P3) do N. Litólico apresentaram os menores valores de perda de solo para o 3º. e 4º. ano hidrológico.

Tabela 6 – Perda de solo nos quatro anos hidrológicos.

Anos hidrológicos	Perda de solo por parcela (Mg ha ano ⁻¹)			
	P0	P1/P3	P2/P4	P5
Ano 1	38.6	12.2	7.5	1.6
Ano 2	32.5	4.1	4.3	0.1
Ano 3	31.7	0.5	0.8	0.6
Ano 4	98.6	4.7	5.1	6.7

A Figura 14 apresenta a perda de solo normalizada pela erosão da chuva (100 A/R) detalhada no quarto ano hidrológico e na Figura 15 para os quatro anos hidrológicos.

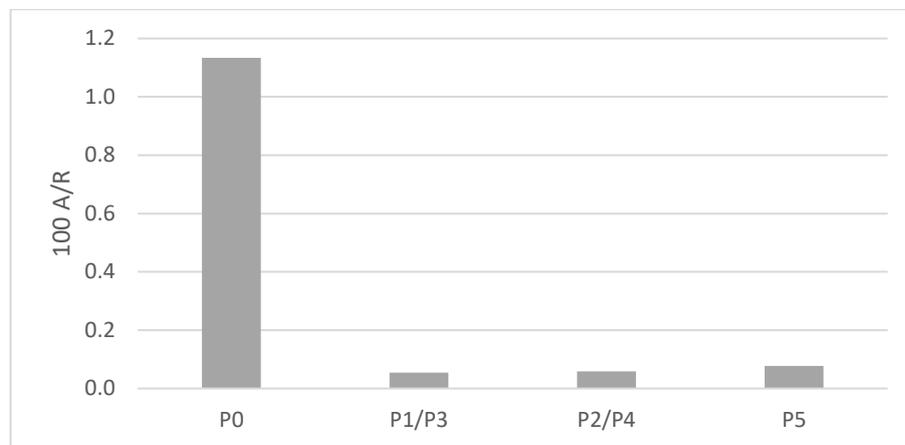


Figura 14 - Perda de solo normalizada no quarto ano hidrológico.

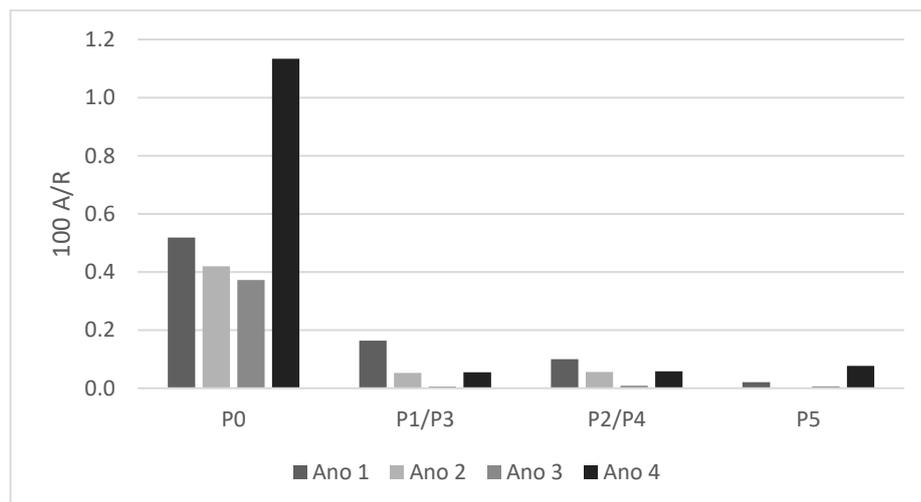


Figura 15 - Perda de solo normalizada nos quatro anos hidrológicos.

Na Figura 15 é possível observar a redução da perda de solo nas parcelas restauradas, mantendo a média dos valores já registrados nos três primeiros anos hidrológicos e o aumento da perda de solo normalizado (100 A/R) na parcela de solo exposto (P0).

A Figura 14 mostra também que a perda de solo normalizada nas parcelas restauradas no 4º. ano hidrológico foi inferior àquela do Cerrado nativo (N. Quartzarênico), indicando que a restauração foi hidrossedimentologicamente efetiva.

A redução observada na perda de solo nas parcelas restauradas (P1-P4), se deu pelo crescimento da vegetação, aumento das raízes, protegendo o solo contra a erosividade da chuva e da enxurrada, diminuindo o processo de erosão do solo.

No caso do fator C da USLE (Figura 16), o ligeiro aumento observado no 4º. ano hidrológico decorreu do significativo aumento da precipitação e da erosividade da chuva no último período, mas de forma não significativa, uma vez que a redução na perda de solo causada pela restauração foi de praticamente 90% em relação ao ano 1.

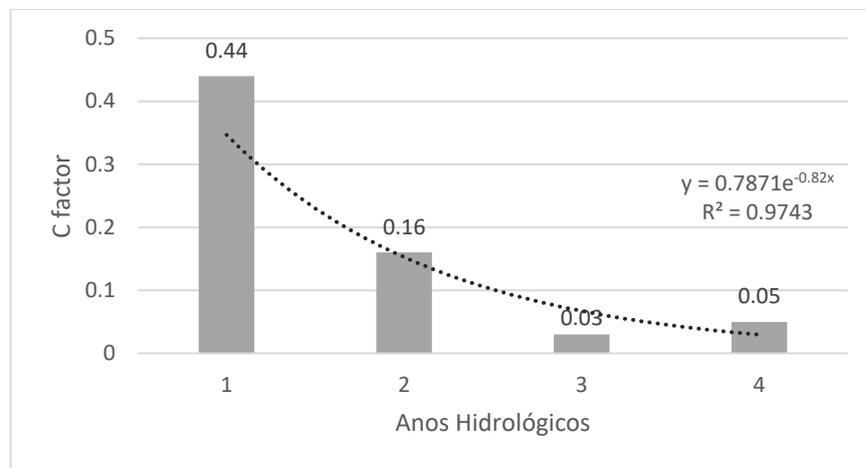


Figura 16 - Evolução da USLE C-factor nas parcelas restauradas (P1-P4).

5.3 Perda de solo e tolerância à erosão

A tolerância à erosão (T) para o N. Litólico e N. Quartzarênico foram tomados como $4,2 \text{ Mg ha ano}^{-1}$ (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008). A Figura 17 apresenta os valores de perda de solo e sua correspondente tolerância à erosão, no 4º ano hidrológico.

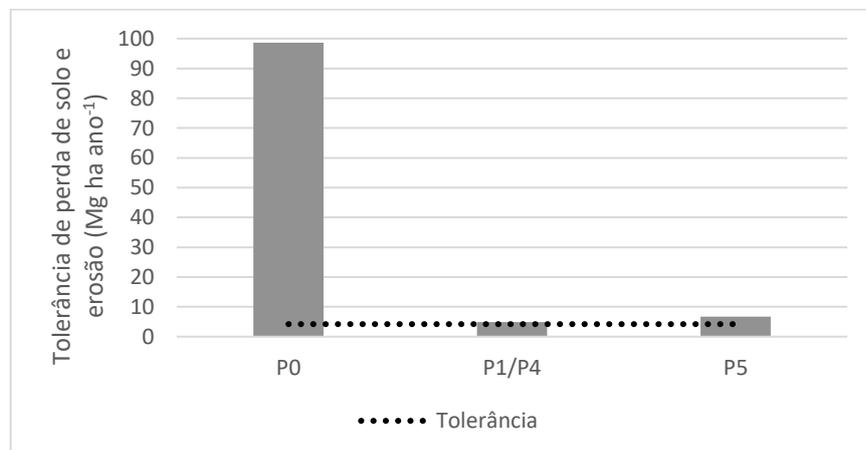


Figura 17 - Tolerância de perda de solo e erosão das parcelas P0-P5 para o quarto ano hidrológico.

No quarto ano hidrológico, seguindo o padrão dos três primeiros anos hidrológicos, a parcela de solo exposto (P0) excedeu em muito a tolerância T. As parcelas restauradas (P1-P4), por sua vez, apresentaram uma perda de solo média de $4,9 \text{ Mg ha ano}^{-1}$, igualando-se ao valor de T do N. Litólico.

Já a parcela de Cerrado Nativo (P5), em função da alta erosividade da chuva no 4º ano, pela primeira vez, nos quatro anos, excedeu o valor de T, com uma perda de solo anual de $6,7 \text{ Mg ha ano}^{-1}$. Esta é uma outra indicação de que a restauração ecológica das parcelas P1-P4 foi efetiva, através do aumento da cobertura do solo e de sua qualidade (CHAVES; CONCHA LOZADA; GASPAR, 2017).

5.4 Balanço hídrico do solo

A Figura 18 apresenta os valores normalizados das variáveis do balanço hídrico para o quarto ano hidrológico. Devido à alta pluviosidade, ocorreu o aumento da taxa de escoamento superficial (Q), ultrapassando aqueles relativos aos três primeiros anos hidrológicos apresentados por Fonseca (2022), com uma correspondente diminuição da taxa de evapotranspiração (ETR) (Figura 19).

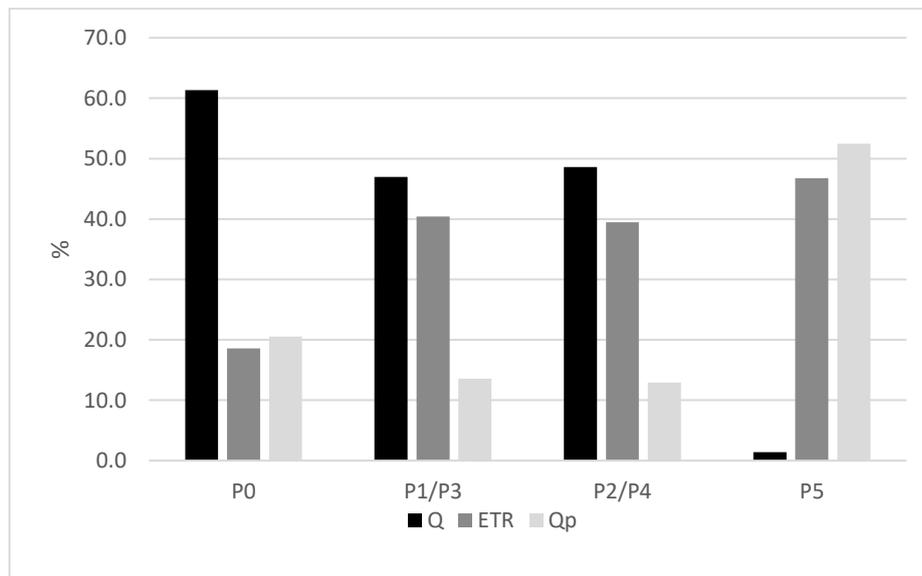


Figura 18 - Balanço hídrico do quarto ano hidrológico, normalizado pela precipitação.

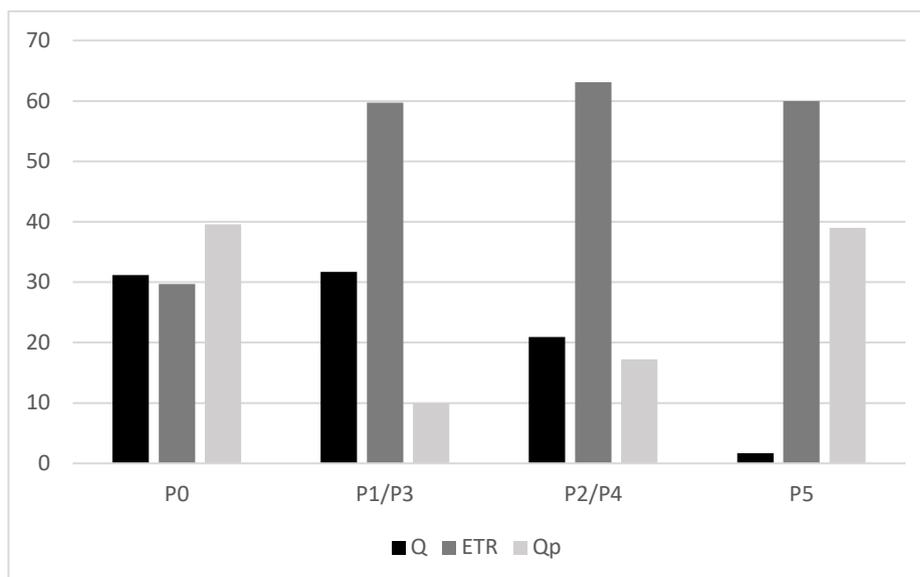


Figura 19 - Balanço hídrico médio dos três anos hidrológicos, normalizado pela precipitação.

A parcela P5 manteve o padrão observado nos anos anteriores, com baixa taxa de escoamento (1,4% de P), devido à alta permeabilidade do Neossolo Quartzarênico sob Cerrado. Entretanto, a Figura 15 indica que as taxas de ETR nas parcelas restauradas foi semelhante àquela da parcela P5, indicando que os serviços hidrológicos das parcelas restauradas, relativamente ao aumento de ETR, se assemelham ao Cerrado nativo (FONSECA, 2022).

6 CONCLUSÕES

Neste estudo do quarto ano hidrológico de parcelas restauradas em área de carste, os resultados mantiveram as tendências observadas nos três primeiros anos hidrológicos, havendo reduções de Q e A relativamente à parcela descoberta, principalmente quando os resultados foram normalizados.

O fator C da USLE para as parcelas restauradas mostrou uma redução em relação de 89% em relação àquela do primeiro ano. Além disso, a perda de solo nas parcelas restauradas no 4º. ano se igualou à tolerância à erosão do N. Litólico, indicando que a restauração ecológica com espécies nativas pode contribuir para a sustentabilidade ambiental, mesmo em anos chuvosos.

O balanço hídrico do solo para o quarto ano hidrológico apresentou mudança no comportamento em relação aos três primeiros anos, aumentando a evapotranspiração, mas com uma menor percolação profunda.

De maneira geral, os resultados indicam que, após 4 anos de restauração ecológica, o processo hidrossedimentológico tendeu a se estabilizar no N. Litólico, retornando às condições próximas à natural, mesmo quando comparado com uma cobertura natural de Cerrado sobre um solo muito mais permeável. Isso mostra que a restauração ecológica, como a realizada, pode gerar importantes serviços hidroambientais, dentro e fora da propriedade, com benefícios para o meio ambiente e para os produtores locais.

7 REFERÊNCIAS

- ALLEN RICHARD G. et al. Estimating Evaporation from Bare Soil and the Crop Coefficient for the Initial Period Using Common Soils Information. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 131, n. 1, p. 14–23, 1 fev. 2005.
- ALVES, G. B. M. et al. Análise ambiental do desmatamento em área de assentamento rural no Cerrado (Mato Grosso, Brasil). **Terr Plural**, v. 14, p. 1–13, 2020.
- ANACHE, J. A. A. et al. Land use and climate change impacts on runoff and soil erosion at the hillslope scale in the Brazilian Cerrado. **Science of The Total Environment**, v. 622–623, p. 140–151, maio 2018.
- ANDREOLI, C. V.; ANDREOLI, F.; JUSTI JUNIOR, J. Formação e características dos solos para o entendimento de sua importância agrícola e ambiental. **Complexidade: redes e conexões do ser sustentável. 1ed. Curitiba: SENAR/PR**, p. 511–530, 2014.
- BAGARELLO, V.; FERRO, V. Plot-scale measurement of soil erosion at the experimental area of Sparacia(southern Italy). **Hydrological Processes**, v. 18, n. 1, p. 141–157, jan. 2004.
- BAGARELLO, V.; FERRO, V. Analysis of soil loss data from plots of differing length for the Sparacia experimental area, Sicily, Italy. **Biosystems Engineering**, v. 105, n. 3, p. 411–422, mar. 2010.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação. 8. ed ed. Viçosa: UFV**, 2006.
- BERTONI, JOSÉ.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo. 6^o ed ed. São Paulo: Ícone Editora**, 2008.
- BROOKS, K. N.; FFOLLIOTT, P. F.; MAGNER, J. A. **Hydrology and the management of watersheds. 4th ed ed. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell**, 2013.
- CALDEIRA, D. et al. Late Quaternary episodes of clastic sediment deposition in the Tarimba Cave, Central Brazil. **Quaternary International**, v. 580, p. 22–37, abr. 2021.
- CHAVES, H. M.; CONCHA LOZADA, C. M.; GASPAR, R. O. Soil quality index of an Oxisol under different land uses in the Brazilian savannah. **Geoderma Regional**, v. 10, p. 183–190, set. 2017.
- CHAVES, H. M. L. Relações de aporte de sedimento e implicação de sua utilização no pagamento por serviço ambiental em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1469–1477, ago. 2010.
- COUTO, L. et al. Técnicas de bioengenharia para revegetação de taludes no Brasil. **Centro Brasileiro para Conservação da Natureza e Desenvolvimento Sustentável: CBCN. Viçosa**, 2010.

DEMARCHI, J.; PIROLI, E.; ZIMBACK, C. Estimativa de Perda de Solos por Erosão na Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Perobas (SP) nos anos 1962 e 2011. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 46, p. 110, 21 mar. 2019.

DIEGO NASCIMENTO; GIULIANO NOVAIS. Clima do Cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. **Élisée - Revista de Geografia da UEG**, v. 9, n. 2, 8 set. 2020.

FONSECA, M. R. S. **Impactos hidrológicos da restauração ambiental de uma área de carste nos Cerrados**. Tese (Doutorado em Geografia) — Brasília: Universidade de Brasília, 2022.

FONSECA, M. R. S.; UAGODA, R.; CHAVES, H. M. L. Rates, factors, and tolerances of water erosion in the Cerrado biome (Brazil): A meta-analysis of runoff plot data. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 47, n. 2, p. 582–595, 2021.

FORD, D.; WILLIAMS, P. **Karst Hydrogeology and Geomorphology: Ford/Karst Hydrogeology and Geomorphology**. West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd., 2007.

GARDI, C. et al. Land take and food security: assessment of land take on the agricultural production in Europe. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 58, n. 5, p. 898–912, 4 maio 2015.

GARDNER, W. H. **Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods**. Madison, WI, USA: Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, 1986.

GASPAR, M. T. P.; CAMPOS, J. O Sistema Aquífero Urucuia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, p. 216–226, 1 jan. 2007.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. DA. **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. 8. ed ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. DA; BOTELHO, R. G. M. (EDS.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 1, n. 2, p. 96–99, 1985.

KARLEN, D. L. et al. Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial). **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, n. 1, p. 4–10, jan. 1997.

KINNELL. A Review of the Science and Logic Associated with Approach Used in the Universal Soil Loss Equation Family of Models. **Soil Systems**, v. 3, n. 4, p. 62, 24 set. 2019.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The Dynamics of Soil Quality as a Measure of Sustainable Management. Em: DORAN, J. W. et al. (Eds.). **SSSA Special Publications**. Madison, WI, USA: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 2015. p. 37–51.

MARQUES, J. F. Custos da Erosão do Solo em Razão dos seus Efeitos Internos e Externos à Area de Produção Agrícola. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 36, n. 1, p. 61–80, 1998.

MORAIS, R. DE O.; FLEISCHMANN, A. S.; RUHOFF, A. Avaliação Preliminar da Relação entre Bancos de Areia e Hidrologia No Sistema Araguaia – Javaés. **XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, p. 8, 2017.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. 3rd ed ed. Malden, MA: Blackwell Pub, 2005.

NRCS. Orders of magnitude increase in soil erosion associated with land use change from native to cultivated vegetation in a Brazilian savannah environment: Soil Erosion Associated With Land use Change for a Brazilian Savannah. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 40, n. 11, p. 1524–1532, 2004.

OSMAN, K. T. **Soil Degradation, Conservation and Remediation**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014.

PEREIRA, A. R. Simplificado o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, v. 64, n. 2, p. 311–313, 2005.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. [s.l.] FEALQ, 1997.

PEREIRA, I.; BOTELHO, S.; ALVARENGA, A. Avaliação da regeneração natural na recomposição de matas ciliares em nascentes na região Sul de Minas Gerais. **CERNE**, v. 12, p. 360–372, 1 jan. 2006.

RATZEL, F. O solo, a sociedade e o Estado. **Revista do departamento de geografia**, v. 2, p. 93–101, 1983.

RENARD, K.; FOSTER, G. R. Managing rangeland soil resources: the Universal Soil Loss Equation. **Rangelands Archives**, v. 7, n. 3, p. 118–122, 1985.

SANTOS, S. A. DOS. Análise de suscetibilidade e potencial á erosão laminar da Área de Preservação Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, p. 6, 2015.

SANTOS, J. P. C.; PEREIRA CALDAS, V. I. S.; SILVA, A. S. Suscetibilidade a Erosão dos Solos da Bacia Hidrográfica Lagos – São João, no Estado do Rio de Janeiro – Brasil, a partir do Método AHP e Análise Multicritério (Susceptibility to Erosion of Soils of the Lagos - São João Basin, in the State of Rio de Janeiro - Brazil, from the AHP Method and Multicriteria Analysis). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 4, p. 1415, 11 nov. 2019.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **CATENA**, v. 57, n. 3, p. 251–259, ago. 2004.

SILVA, F. F. et al. **Aplicação da modelagem matemática no uso conjunto água superficial e subterrânea para a gestão de recursos hídricos no oeste do estado da Bahia**. . Em: ABRH - SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA AMAZÔNIA. , 2005.

SPERLING, M. VON. **Wastewater characteristics, treatment and disposal**. London: IWA Publ. [u.a.], 2007.

TÁNAGO, M. G. La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo. Pasado, presente y futuro. **Ecologia**, n. 5, p. 13–50, 1991.

TAVARES, A. et al. Analysis of the Erosion Potential and Sediment Yield Using the Intero Model in an Experimental Watershed Dominated by Karst in Brazil. **The Journal Agriculture and Forestry**, v. 67, p. 153–162, 30 jun. 2021.

THORNTHWAITE, C. W. An Approach toward a Rational Classification of Climate. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p. 55, jan. 1948.

TRAVASSOS, L. E. P. **Princípios de carstologia e geomorfologia cárstica**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2019.

WIGHT, J. R.; HANSON, C. L. Crop Coefficients for Rangeland. **Journal of Range Management**, v. 43, n. 6, p. 482, nov. 1990.

WILLIAMS, P. World Heritage Caves and Karst: A Thematic Study: A global review of karst World Heritage properties: present situation, future prospects and management requirements. 2008.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning**. Washington: USDA: Department of Agriculture, Science and Education Administration, 1978.

WUNDER, S. Payments for environmental services: some nuts and bolts. **Jakarta: Center for International Forestry Research**, n. 42, p. 24, 2005.

YOULTON, C.; BRAGION, A. P.; WENDLAND, E. Experimental Evaluation of Sediment Yield in The First Year after Replacement of Pastures by Sugarcane. **Ciencia e investigación agraria**, v. 43, n. 3, p. 4–4, 2016.