

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel

Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água



TESE

**Identificação do Parâmetro Curva Número para uma Sub-bacia da Encosta do
Sudeste do Rio Grande do Sul**

Elisa Bald Siqueira

Pelotas, 2018

Elisa Bald Siqueira

**Identificação do Parâmetro Curva Número para uma Sub-bacia da Encosta do
Sudeste do Rio Grande do Sul**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Ciências.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Claudia Fernanda Almeida Teixeira-Gandra

Coorientadores: Prof.^a Dr.^a Rita de Cássia Fraga Damé

Prof. Dr. Rodrigo Rizzi

Pelotas, 2018

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S111i Siqueira, Elisa Bald

Identificação do Parâmetro Curva Número para uma Sub-
bacia da Encosta do Sudeste do Rio Grande do Sul / Elisa
Bald Siqueira ; Claudia Fernanda Almeida Teixeira-Gandra,
orientadora ; Rita de Cássia Fraga Damé, Rodrigo Rizzi,
coorientadores. — Pelotas, 2018.

86 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em
Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de
Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas,
2018.

1. Sistema de Informação Geográfica. 2. Escoamento
superficial. 3. Recursos hídricos. I. Teixeira-Gandra, Claudia
Fernanda Almeida, orient. II. Damé, Rita de Cássia Fraga,
coorient. III. Rizzi, Rodrigo, coorient. IV. Título.

CDD : 631.4

Elisa Bald Siqueira

Identificação do Parâmetro Curva Número para uma Sub-bacia da Encosta do
Sudeste do Rio Grande do Sul

Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutora em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 30 de agosto de 2018.

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Claudia Fernanda Almeida Teixeira-Gandra (Orientadora)
Doutora em Solos e Nutrição de Plantas pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ESALQ/USP

Prof. Dr. Fioravante Jaekel dos Santos
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas/UFPel

Prof. Dr. Gilberto Loguercio Collares
Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Santa Maria/UFSM

Prof. Dr. Marcelo Peske Hartwig
Doutor em Irrigação e Drenagem pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ESALQ/USP

Aos meus pais, Jorge e Mara,
por serem meu porto seguro e
eternos incentivadores!

Agradecimentos

Meus sinceros agradecimentos...

A Deus, por abençoar todos os dias da minha vida, iluminando meu caminho e me concedendo saúde e oportunidades para realizar meus sonhos.

À minha família, pelo apoio, incentivo, compreensão e amor sempre dispensados.

À minha professora orientadora Claudia Teixeira Gandra, e aos professores coorientadores, Rita Damé e Rodrigo Rizzi, pelos ensinamentos, dedicação, paciência e confiança na realização deste trabalho, e também pela valorização da pós-graduação e da docência.

Aos demais professores e funcionários do PPGMACSA, que durante todo o tempo de doutorado mostraram-se disponíveis e interessados em ajudar.

Aos colegas, em especial ao Gabriel, à Aline, à Roberta, à Manu e ao Gustavo, pela ajuda e companheirismo sempre que precisei.

Aos professores participantes da banca, Fioravante dos Santos, Gilberto Collares e Marcelo Hartwig, pela disponibilidade e dedicação na contribuição deste trabalho. Também à professora Maria Cândida Nunes, pela disponibilidade e auxílio.

Aos colegas, amigos e alunos do IFSul/CaVG, pela torcida, paciência e companheirismo no dia a dia.

Aos demais amigos de perto e longe, que vibraram comigo esta conquista.

A todos, que de alguma maneira, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

*“Mesmo quando tudo parece desabar, cabe a mim decidir
entre rir ou chorar, ir ou ficar, desistir ou lutar;
porque descobri, no caminho incerto da vida, que
o mais importante é o decidir”.*

Cora Coralina

Resumo

SIQUEIRA, Elisa Bald. **Identificação do Parâmetro Curva Número para uma Sub-bacia da Encosta do Sudeste do Rio Grande do Sul**. 2018. 86f. Tese (Doutorado em Manejo e Conservação do Solo e da Água) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

A quantidade e a qualidade dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica são reflexos do uso e ocupação do solo. Ações como ocupação desordenada, canalização dos rios e impermeabilização do solo vêm alterando as características naturais de bacias, influenciando no escoamento superficial e nas taxas de infiltração de água no solo, podendo ocasionar problemas nos componentes do ciclo hidrológico. Assim, a necessidade de informações sobre as características do solo são essenciais para uma melhor gestão de bacias hidrográficas. O método Curva Número (CN) do *Soil Conservation Service* é amplamente utilizado para a estimativa do hidrograma de escoamento superficial, mas são escassos os dados para a obtenção do parâmetro CN, para as condições brasileiras, especificamente para o sul do País. Em vista disso, este trabalho objetivou identificar o parâmetro CN para uma sub-bacia do arroio Moreira, localizada no extremo sul do estado do Rio Grande do Sul, a fim de proporcionar dados específicos para a determinação do hidrograma de escoamento superficial local. Através da caracterização dos grupos hidrológicos e coberturas de solos, com utilização de geotecnologias para compilação dessas características, foi obtido o valor CN 82 para a sub-bacia Fragata, pertencente à bacia hidrográfica do arroio Moreira. A metodologia utilizada mostrou-se adequada e pode ser utilizada para subsidiar questões referentes a planejamentos de recursos hídricos, servindo como apoio à gestão dos mesmos.

Palavras-Chave: Sistema de Informação Geográfica; escoamento superficial; recursos hídricos.

Abstract

SIQUEIRA, Elisa Bald. **Identification of the Parameter Curve Number for a sub-basin of the Southeast of Rio Grande do Sul**. 2018. 86p. Doctoral thesis (Doctorate degree in Soil and Water Management and Conservation) – Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

The quantity and quality of the water resources of a river basin is a reflection of the use and occupation of the soil. Actions such as uncontrolled occupation, river channeling and soil sealing have altered the natural characteristics of basins, influencing the runoff and the infiltration rates of water in the soil, which can cause problems in the components of the hydrological cycle. Thus, the need for information on soil characteristics is essential for better river basin management. The Soil Conservation Service Curve Number (CN) method is widely used to estimate the runoff hydrograph, however, data are lacking for obtaining the CN parameter for brazilian conditions, specifically for the south of the country. This study aimed to identification the CN for a sub-basin of the Moreira stream, located in the southern end of the state of Rio Grande do Sul, in order to provide specific data for the of the hydrograph of local surface runoff. Through the characterization of hydrological groups and soil coverings, using geotechnologies to compile these characteristics, the CN 82 value was determined for the Fragata sub-basin, belonging to the hydrographic basin of the Moreira stream. The methodology used was adequate and can be used to support issues related to water resources planning, serving as management support.

Keywords: Geographic Information System; surface runoff; water resources.

Lista de Figuras

Figura 1	Mapa das regiões hidrográficas brasileiras.	17
Figura 2	Localização da bacia hidrográfica do arroio Moreira e sub-bacia Fragata.	38
Figura 3	Mapa da classificação dos solos da sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.	47
Figura 4	Mapa da identificação dos grupos hidrológicos da sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.	52
Figura 5	Mapa da identificação dos tipos de coberturas dos solos da sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.	54
Figura 6	Foto característica da região sul da sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.	55
Figura 7	Foto característica da região sul da sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.	55
Figura 8	Mapa da matriz numérica dos valores do parâmetro Curva Número (CN) identificados para cada pixel da sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.	58
Figura 9	Mapa de interseção solo hidrológico/cobertura e valor do parâmetro Curva Número (CN) para a sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.	59
Figura 10	Hietograma de projeto e efetivo para um período de retorno de 10 anos, considerando CN de 82, para a sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.	62
Figura 11	Hietograma de projeto e efetivo para um período de retorno de 50 anos, considerando CN de 82, para a sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.	62
Figura 12	Hietograma de projeto e efetivo para um período de retorno de 100 anos, considerando CN de 82, para a sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.	63

Figura 13	Hidrograma de escoamento superficial para um período de retorno de 10 anos, considerando CN de 82, para a sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.	65
Figura 14	Hidrograma de escoamento superficial para um período de retorno de 50 anos, considerando CN de 82, para a sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.	65
Figura 15	Hidrograma de escoamento superficial para um período de retorno de 100 anos, considerando CN de 82, para a sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.	66

Lista de Tabelas

Tabela 1	Valores de taxas mínimas de infiltração de água no solo, conforme os grupos hidrológicos.	30
Tabela 2	Reclassificação dos tipos de solos da sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.	45
Tabela 3	Áreas de ocupação das classes de solos da sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.	46
Tabela 4	Correspondência entre classes e grupos hidrológicos de solos.	51
Tabela 5	Relação entre tipo de cobertura e área na sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.	54
Tabela 6	Valores do parâmetro Curva Número (CN) para as convergências solos hidrológicos e coberturas da sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.	57
Tabela 7	Relações entre interseções solo hidrológico/cobertura e valores do parâmetro Curva Número (CN) para a sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.	59

Lista de Abreviaturas e Siglas

AMC	Condição Antecedente de Umidade
API	Índice Antecedente de Precipitação
ARC	Condição Antecedente de Escoamento
BHAF	Bacia Hidrográfica do Arroio Fragata
BHAM	Bacia Hidrográfica do Arroio Moreira
CN	Curva Número
GEP	Google Earth Pro
IDF	Intensidade - Duração – Frequência
LEGAL	Linguagem Especial para Geoprocessamento Algébrico
NRCS	<i>Natural Resources Conservation Service</i>
SBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas
SWAT	<i>Soil and Water Assessment Tool</i>
TR	<i>Technical Release</i>
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

Sumário

1 Introdução	13
2 Revisão Bibliográfica	15
2.1 Interação Solo – Água	15
2.2 Bacia Hidrográfica	16
2.2.1 Bacia Hidrográfica do Arroio Moreira	18
2.3 Modelagem Hidrológica	19
2.4 Escoamento Superficial	20
2.4.1 Hidrograma de Escoamento Superficial	21
2.5 Método Curva Número do <i>Soil Conservation Service</i> (CN/SCS)	23
2.5.1 Precipitação e Umidade Antecedente	25
2.5.2 Tipo e Cobertura de Solos	26
2.5.3 Grupos Hidrológicos de Solos	29
2.6 Geotecnologias	34
2.6.1 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)	36
3 Material e Métodos	38
3.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo	38
3.2 Determinação dos Grupos Hidrológicos	39
3.3 Determinação do Parâmetro Curva Número (CN)	40
3.4 Obtenção de Mapas	40
3.5 Determinação do Hidrograma de Escoamento Superficial	41
4 Resultados e Discussão	45
4.1 Tipos de Solos	45
4.2 Grupos Hidrológicos	51
4.3 Coberturas dos Solos	54
4.4 Parâmetro Curva Número (CN)	57
4.5 Precipitação Total e Efetiva	61
4.6 Hidrograma de Escoamento Superficial	64
5 Considerações Finais	68
Referências	69
Apêndices	80
Anexo	85

1 Introdução

A consciência sobre a limitação dos recursos naturais, em específico o uso dos solos em relação ao crescimento da população, está cada vez mais presente (ALVES, DEMATTÊ e BARROS, 2015). Com isso, a necessidade de informações do seu uso torna-se essencial, não somente em termos de produção de alimentos e matérias-primas, mas também como subsídio para o desenvolvimento urbano, estudos ambientais, entre outros.

Ratificando essa premissa, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) alertou para o aumento da degradação dos solos, devido a práticas inadequadas de manuseio da terra. Segundo a FAO, aproximadamente 33% dos solos globais estão degradados, e divulga ainda que as práticas inapropriadas estão intensificando essa degradação (FAO, 2017).

Simultaneamente aos problemas relacionados ao uso do solo, os recursos hídricos também apresentam adversidades e escassez de informações no Brasil, como em outros países em desenvolvimento, embora com um vasto potencial hidrológico na maior parte do seu território. Neste contexto, a compreensão da dinâmica da água no solo é fundamental no estudo de bacias hidrográficas (SOARES, 2018).

Como ferramentas de planejamento e decisão, têm-se os modelos hidrológicos, os quais devem ser estruturados de forma simples para permitir sua utilização por diversos usuários e em múltiplas situações.

Nesse contexto, para a determinação da vazão de projeto podem ser utilizados métodos sintéticos, entre os quais o Método da Curva Número (CN), do *Soil Conservation Service* (SCS, 1972), cujo parâmetro CN caracteriza o uso e ocupação do solo, considerando valores específicos para cada sinergia entre tipo e cobertura de solo.

Os valores do parâmetro CN são obtidos, para cada uso e cobertura do solo, em tabelas do *Natural Resources Conservation Service* (USDA-NRCS, 2004), desenvolvidas para as condições de uso e cobertura do solo dos Estados Unidos (EUA), em conjunto com quatro grupos de solos classificados de acordo com a textura, estrutura e taxa de infiltração de água no solo. No entanto, existe uma

carência de valores do referido parâmetro para as condições brasileiras, especificamente para a região sul do País. Desta forma, emerge a importância do desenvolvimento de pesquisas que sejam capazes de estimar o referido parâmetro, mediante diferentes cenários de uso e ocupação do solo para as regiões carentes desta informação.

Nesse sentido, as geotecnologias têm sido muito utilizadas para a espacialização de elementos hidrológicos e de uso e ocupação do solo, perante os resultados satisfatórios obtidos (CALZAVARA e FERNANDEZ, 2015; RIZZO et al., 2016; SOUZA et al., 2017). Assim, os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) apresentam-se como ferramentas importantes à realização de análises, tendo como base os dados georeferenciados.

Cabe ressaltar que o presente trabalho vem ao encontro do objetivo do Projeto de Pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, registrado no Conselho Coordenador do Ensino da Pesquisa e da Extensão da Universidade Federal de Pelotas (COCEPE/UFPel), intitulado “Degradação do solo por erosão hídrica e conflitos no uso da terra na bacia hidrográfica do Arroio Moreira”, com participação de professores e estudantes, que desenvolvem dissertações e teses voltadas para a conservação do solo e da água na região. As informações obtidas e difundidas poderão fornecer subsídios a políticas conservacionistas locais, para a seleção de áreas prioritárias à conservação e/ou recuperação do solo e à tomada de decisões sobre o adequado uso e manejo do solo, visando o desenvolvimento tecnológico, econômico e sociocultural da região.

Nesse contexto, propõe-se, no presente trabalho, com o auxílio de geotecnologias e informações espaciais, identificar o parâmetro Curva Número do *Soil Conservation Service* de uma sub-bacia do arroio Moreira, localizada no extremo sul do estado do Rio Grande do Sul, através da caracterização de seus grupos hidrológicos e coberturas do solo, proporcionando assim, dados específicos para a determinação do hidrograma de escoamento superficial local.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Interação Solo-Água

A intensificação das atividades humanas, em detrimento do meio natural, provoca consequências danosas, como a degradação ambiental e prejuízos econômicos e sociais, destacando-se a erosão hídrica, perda de solos agricultáveis, assoreamento de cursos hídricos, dentre outros (RODRIGUES et al., 2015a).

O crescimento populacional e o consequente aumento da procura de alimentos levaram à expansão e intensificação da produção agrícola no Brasil. Em vários casos, de acordo com Broetto et al. (2017), essa situação incentivou os agricultores a ocuparem áreas ambientalmente frágeis, muitas vezes com desrespeito à conservação dos recursos naturais.

As ações antrópicas como ocupação desordenada, canalização dos rios, impermeabilização do solo e destruição da vegetação nativa vêm alterando as características naturais de bacias hidrográficas, influenciando no escoamento superficial e nas taxas de infiltração de água no solo, podendo ocasionar problemas significativos nos componentes do ciclo hidrológico (PERAZZOLI, PINHEIRO e KAUFMANN, 2013).

Segundo Perazzoli, Pinheiro e Kaufmann (2013), o uso inadequado dos solos agrícolas vem causando a perda gradual da sua capacidade produtiva e a degradação dos recursos hídricos por sedimentos e poluentes. A ação antrópica tem acelerado esses processos de maneira intensa, trazendo, como consequência, prejuízos ao setor agrícola e ao meio ambiente, com reflexos econômicos e sociais.

Os componentes do ciclo hidrológico interferem em diversos aspectos em uma região, como na produtividade agrícola, na geração de energia, no controle de cheias, no abastecimento de água para a indústria e para a população, no manejo da flora e da fauna, dentre outros, sendo suscetível às modificações procedentes, tanto de causas naturais, como das atividades antrópicas. Conforme Perazzoli, Pinheiro e Kaufmann (2013), a ação do homem sobre o uso e ocupação do solo pode produzir impactos nos processos hidrológicos terrestres, como a redução ou aumento da vazão de escoamento superficial e alterações na qualidade da água de uma bacia hidrográfica.

Assis et al. (2017) ressaltam que a forma como a gestão e as práticas agrícolas são realizadas podem alterar a qualidade do solo, sendo a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos de uma bacia reflexos do uso e ocupação do solo. A importância do manejo adequado de áreas rurais e urbanas proporciona o desenvolvimento de modelos que representem as consequências dos processos físicos de ocupação.

2.2 Bacia Hidrográfica

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, incorpora princípios e normas para a gestão de recursos hídricos, adotando a definição de bacias hidrográfica como unidade de estudo e gestão (BRASIL, 1997).

Entende-se por bacia hidrográfica toda a área de captação natural da água da chuva, que escoar superficialmente para um corpo de água ou seu contribuinte. Os limites da bacia hidrográfica são definidos pelo relevo, considerando-se como divisores de águas, as áreas mais elevadas. O corpo de água principal, que dá o nome à bacia, recebe a contribuição dos seus afluentes, sendo que cada um deles pode apresentar vários contribuintes menores, alimentados direta ou indiretamente por nascentes (SEMA, 2016).

Uma bacia hidrográfica, segundo Correia, Ribeiro e Baptista (2015), é definida como uma área de captação natural da água da precipitação, que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório, sendo constituída basicamente por um conjunto de superfícies vertentes e uma rede de drenagem formada por cursos d'água, que confluem até resultar um único leito no exutório.

De acordo com Carvalho (2014), os componentes ambientais como rocha, relevo, solo, água, vegetação e clima, não podem ser compreendidos isoladamente, e sim através de suas relações, a fim de que o planejamento e a gestão sejam adequados ao conjunto. Ainda segundo o autor, os recursos hídricos não devem ser geridos sem considerar suas estreitas inter-relações com os outros componentes do meio e com a ação antrópica, que altera as condições de funcionamento dos sistemas naturais, produzindo mudanças que podem afetar diretamente a quantidade e a qualidade de água disponível em uma bacia.

Freire e Castro (2014) ainda complementam que a ocorrência de um fenômeno natural ou qualquer atividade humana nos limites de uma bacia hidrográfica pode afetar tanto a quantidade, quanto a qualidade das águas dessa bacia.

A bacia hidrográfica, portanto, serve como unidade básica para gestão dos recursos hídricos, uma vez que os elementos físicos naturais estão interligados pelo ciclo da água (SEMA, 2016). Silva e Rodriguez (2014) ressaltam que as bacias hidrográficas são unidades diferenciadas utilizadas no planejamento ambiental, constituindo um sistema organizado e definido principalmente pelo conjunto do escoamento hídrico superficial e subsuperficial.

O Brasil está dividido hidrograficamente em regiões, conforme Resolução nº 32 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, de 15 de outubro de 2003 (BRASIL, 2003). As regiões hidrográficas brasileiras são apresentadas na Figura 1, em que as divisões foram feitas de maneira a agregar as necessidades de gestão dos recursos hídricos, com a configuração física e características locais.



Figura 1 – Mapa das regiões hidrográficas brasileiras.

Fonte: Conselho Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 2003).

A Região Hidrográfica Atlântico Sul corresponde à porção mais meridional do Brasil em relação à vertente litorânea, abrangendo 2,2% do território nacional e 6,8% da população, detendo 2,6% da disponibilidade hídrica do país e exercendo 14,6% da demanda total por recursos hídricos. Estes percentuais permitem destacar a relação entre sociedade e recursos naturais na região, com ênfase à água (CADERNO, 2006).

2.2.1 Bacia Hidrográfica do Arroio Moreira

A bacia hidrográfica do arroio Moreira (BHAM), também conhecida como bacia hidrográfica Moreira/Fragata, localiza-se ao sudoeste da área urbana de Pelotas/RS, tendo seu curso d'água como divisa com o município de Capão do Leão/RS. A BHAM está inserida na bacia hidrográfica Mirim – São Gonçalo, ocupando parte das regiões geomorfológicas do Planalto Sul-Rio-Grandense, Planície Continental e Planície Costeira Interna. A BHAM é considerada uma bacia com baixa urbanização e constituída por três mananciais de abastecimento de água da cidade, possuindo extensas áreas de banhados e importantes areais. Seu desnível geométrico é de 285 m e o comprimento do seu curso principal, 38.474 m (PLANO, 2013).

A referida bacia apresenta áreas com graves problemas relacionados à erosão hídrica dos solos, assoreamento de cursos d'água e, conseqüentemente, inundações na parte urbana do município, localizada na porção de menor altitude (CUNHA, SILVEIRA e SEVERO, 1996).

Dessa forma, a conservação do solo e da água, visando o controle da erosão hídrica nessa bacia pode ser de grande interesse para a produção agropecuária e para a qualidade dos cursos da água da região. Segundo Cunha, Silveira e Severo (1996), qualquer projeto de desenvolvimento agrícola da região deve contar com estudos mais detalhados, que efetivamente identifiquem áreas de maior risco de erosão.

2.3 Modelagem Hidrológica

As questões relacionadas a problemas de falta de água e uso correto dos recursos hídricos estão entre os grandes desafios a serem enfrentados pela humanidade nas próximas décadas. De acordo com Fan e Collischonn (2014), para que estas demandas sejam superadas, a modelagem hidrológica se apresenta como uma das principais ferramentas a serem utilizadas, uma vez que pode ser útil para a realização de previsões, estudos sobre efeitos de mudanças climáticas e de uso do solo, análises de disponibilidade de água e apoio à tomada de decisões, entre outras aplicações.

A modelagem hidrológica é uma importante ferramenta no planejamento e gerenciamento de programas de recursos hídricos de bacias hidrográficas, auxiliando na predição hidrológica (CABRAL, SAKURAG e SILVEIRA, 2017). Segundo os autores, tem sido aplicada principalmente para estimar a disponibilidade de água, para a previsão de fluxos de curto e médio prazo e para analisar a resposta hidrológica de bacias, em função de mudanças no uso e ocupação do solo. De acordo com Pereira et al. (2016), a obtenção de um modelo hidrológico com a capacidade de estimar, com boa precisão, o regime de água de bacias de forma rápida, econômica e segura é importante para um melhor planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos.

Além disso, as técnicas avançadas de modelagem hidrológica tornaram-se viáveis porque a geração e a manipulação de dados podem ser feitas com eficiência através de operações espaciais em um sistema de informação geográfica, não só economizando tempo e esforço, como também melhorando a precisão, em relação aos métodos tradicionais (CORREIA, RIBEIRO e BAPTISTA, 2015).

Embora a modelagem hidrológica tenha se estabelecido como ferramenta fundamental para a gestão dos recursos hídricos, Pontes et al. (2015) ressaltam que os modelos devem ser utilizados com muito critério, sobretudo os mais avançados e complexos, pois utilizam quantidades crescentes de variáveis, muitas vezes de difícil determinação.

Para a simulação do comportamento de uma bacia hidrográfica, os modelos utilizam uma série de equações com dados de entrada diversos, como tipo e uso do solo na região estudada, precipitação ao longo do tempo, e outras variáveis

climáticas. Segundo Fan e Collischon (2014), como resultados, são geradas informações hidrológicas ao longo de vários pontos da bacia hidrográfica estudada, como vazão nos rios e balanços de água no solo.

A resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica, para diferentes sistemas de uso e manejo do solo, é importante no processo de modelagem do escoamento superficial. Segundo Perazzoli, Pinheiro e Kaufmann (2013), o conhecimento dos efeitos da variação no uso da terra sobre o movimento de sedimentos e água através da bacia hidrográfica é essencial para a tomada de decisões sobre o manejo de uso da terra.

Além da análise de dados hidrológicos, de acordo com Barros et al. (2014), é necessária a calibração de modelos hidrológicos para a estimativa da parcela de água infiltrada durante um evento chuvoso. Um dos modelos mais utilizados nesse caso é o modelo da Curva Número do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos (USDA - NRCS, 2004).

2.4 Escoamento Superficial

O escoamento superficial tem início quando a intensidade de precipitação é maior do que a taxa de infiltração da água no solo, ou quando a capacidade de retenção de água pela superfície do terreno for ultrapassada, sendo considerado o principal responsável pelo rápido aumento da vazão, após a ocorrência da precipitação (SANTOS e LOLLO, 2016).

O processo de escoamento superficial depende de fatores como: intensidade da precipitação, geologia, permeabilidade do terreno, condição de umidade antecedente do solo, duração e frequência da precipitação, tipo de cobertura vegetal, área da bacia de drenagem, distribuição espacial e temporal da precipitação, geometria dos rios e riachos e declive dos terrenos (ARAÚJO NETO et al., 2013; BARROS et al., 2014; DURÁN-BARROSO, GONZÁLES e VALDÉS, 2016).

Associar a gênese do escoamento superficial às diversas características físicas e de ocupação do solo, segundo Barros, Neves e Henrique (2016), permite inferir sobre instrumentos que, a partir de aspectos de urbanismo, de parcelamento, de taxas de ocupação, entre outros, possam estabelecer critérios de controle, como áreas de lotes, declividades e percentual de permeabilidade.

A gestão da drenagem urbana pode melhorar a segurança dos sistemas de drenagem e proteger a comunidade das chuvas extremas e seu consequente escoamento (AJMAL et al., 2015). Assim, para mitigar as consequências das inundações, a utilização da modelagem na estimativa de escoamento para as bacias hidrográficas pode ser de grande utilidade.

O modelo de Número de Curva (CN) do Serviço de Conservação do Solo (SCS) desenvolvido pelo Serviço de Conservação de Recursos Naturais, do Departamento de Agricultura dos EUA (USDA - NRCS) é considerado um dos mais populares e amplamente aplicado para a estimativa de escoamento direto (AJMAL et al., 2015).

No trabalho de Dile et al. (2016), por exemplo, foi testada a aplicabilidade do método CN para estimativa do escoamento superficial na escala de bacias hidrográficas em regiões tropicais. O escoamento superficial simulado utilizando o método CN foi comparado com o escoamento observado em eventos de precipitação pluvial em três pequenas bacias localizadas na bacia do Alto Nilo Azul, na Etiópia. Os autores observaram que o método CN apresentou bom desempenho na simulação do escoamento superficial nas bacias estudadas, não ocorrendo diferença no desempenho do método CN na simulação do escoamento superficial sob baixa e alta precipitação antecedente. Concluíram, ainda, que o método CN, com baixa intensidade de precipitação, subestimou o escoamento superficial, possivelmente devido a áreas saturadas, típicas de muitos solos tropicais. Com isso, os autores indicam que há possibilidades para melhorias na parametrização, em relação à representação de solos tropicais no método CN para estimativa de escoamento, principalmente para eventos de baixa intensidade de chuva.

2.4.1 Hidrograma de Escoamento Superficial

Para dimensionar estruturas hidráulicas como vertedouros, canais de drenagem, estruturas de conservação de solo e água, torna-se necessário o conhecimento do valor máximo de vazão do curso de água para elaborar o projeto, associado ao período de retorno correspondente (DAMÉ et al., 2014).

Nesse sentido, a precipitação pluvial é fundamental para o entendimento da dinâmica do meio físico, considerando sua irregularidade de distribuição espacial e

temporal, além de sua intensidade. No entanto, a escassez de estações pluviográficas levou ao desenvolvimento de metodologias que permitem a estimativa da relação Intensidade – Duração – Frequência (IDF), por meio de técnicas de desagregação de chuvas, utilizando dados de pluviômetros. Essas relações possibilitam a determinação da chuva de projeto, importante no dimensionamento de obras hidráulicas, em áreas urbanas e rurais (SILVA e OLIVEIRA, 2017).

O hietograma, de acordo com Bemfica, Goldenfum e Silveira (2000), é uma forma gráfica que relaciona a intensidade da chuva ao longo de sua duração. As chuvas de projeto são metodologias de representação simplificada da distribuição temporal da precipitação, utilizadas basicamente como entrada em modelos de simulação chuva-vazão. Ainda segundo os autores, por sua aplicação depender de poucos dados, esses procedimentos podem ser utilizados em bacias que não apresentam um monitoramento adequado, e também em projetos que não disponham de fundos ou tempo para obtenção de registros detalhados de precipitação, sendo assim, sua principal vantagem, a simplicidade de obtenção.

Alguns dos métodos para a estimativa do hietograma de projeto, baseados nas relações IDF, são o método de Chicago (KEIFER e CHU, 1957), o método proposto por Pilgrim e Cordery (1975), o método do hietograma triangular proposto por Gamiz (2001) e o método dos blocos alternados (BEMFICA, GOLDENFUM e SILVEIRA, 2000).

Independentemente do método de estimativa do hietograma de projeto, a forma como é feita a distribuição temporal das alturas precipitadas não está relacionada com o fenômeno físico, ocorrendo o rearranjo das alturas precipitadas, de forma a caracterizar a condição mais crítica (DAMÉ et al., 2010).

O hidrograma de projeto é obtido a partir do hidrograma unitário sintético triangular do SCS (1972), considerando características da unidade hidrológica e os valores de precipitação excedentes, estimados pela relação IDF. Assim, obtém-se o hidrograma de escoamento superficial local, para ser utilizado em obras de engenharia.

2.5 Método Curva Número do *Soil Conservation Service* (CN/SCS)

O método Curva Número (CN), elaborado pelo *United States Department of Agriculture – Soil Conservation Service* (USDA-SCS) permite, com base no parâmetro CN, identificar características referentes ao potencial de escoamento superficial em diferentes áreas. Segundo Santos e Lollo (2016), o CN é um método que considera a relação direta entre as características da bacia e os parâmetros envolvidos no escoamento.

O parâmetro CN considerado chave do método foi desenvolvido a partir de um estudo empírico de escoamento em um número limitado de pequenas bacias hidrográficas situadas no sudoeste dos Estados Unidos e tabulado para diferentes combinações dos fatores correlacionados (DURÁN-BARROSO, GONZÁLES e VALDÉS, 2016).

O uso generalizado do modelo SCS-CN baseia-se na sua simplicidade e aplicabilidade, juntamente com o fato de que ele combina os fatores mais relevantes que afetam o escoamento superficial, como o tipo de solo, seu uso e tratamento e condição de superfície, em um único parâmetro. Além disso, é uma das metodologias que possui entradas ambientais prontamente disponíveis e razoavelmente bem documentadas, sendo um procedimento já estabelecido e mundialmente aceito (DURÁN-BARROSO, GONZÁLES e VALDÉS, 2016).

Santos e Lollo (2016) ainda afirmam que ao combinar o uso e cobertura da terra com as características de solo, esse modelo possibilita a produção de informações sobre o escoamento superficial, sendo estas capazes de suprir a carência de dados hidrológicos existentes, em grande parte dos municípios brasileiros.

Desde a sua introdução em 1954, o método CN tornou-se a ferramenta padrão, na prática, para estimar uma resposta de precipitação/escoamento baseada em eventos. No entanto, segundo Bartlett et al. (2016), devido às suas origens empíricas, o recurso SCS-CN é restrito para certas regiões geográficas e tipos e uso do solo. Além disso, não descreve a variabilidade espacial do escoamento superficial, sendo classificado como um modelo do tipo concentrado.

Em contrapartida, Soares et al. (2017) afirmam que o parâmetro CN é muito utilizado para estimar vazões em pequenas bacias, com base em dados que podem

ser derivados de sensoriamento remoto e SIGs. Além disso, Santos e Lollo (2016) relatam que há uma adaptação do método para os solos do estado de São Paulo, suficientemente abrangente para ser aplicado a solos de outros Estados brasileiros. Essa adaptação foi estudada e aplicada nos trabalhos de Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005a) e Sartori, Genovez e Lombardi Neto (2005b), e posteriormente otimizado por Sartori (2010).

A determinação do parâmetro CN para cada região específica tem sido tema de vários estudos em vários países, inclusive no Brasil. Meshram, Sharma e Tignath (2017), em uma bacia hidrográfica de Madhya Pradesh, Índia, objetivaram gerar o CN utilizando sensoriamento remoto e informação geográfica. Para o cálculo do parâmetro CN, utilizaram tabelas modificadas do NRCS para as condições indianas, tanto para os grupos hidrológicos, quanto para a cobertura do solo. Os autores salientaram que a aplicação das geotecnologias facilita a identificação de características físicas amplas, como corpos de água, cobertura do solo, córregos, entre outros. Além disso, o trabalho foi finalizado com a observação da necessidade de estudos sobre o comportamento das bacias hidrográficas frente às peculiaridades do CN local, para o planejamento da conservação do solo e da água.

Lal, Mishra e Pandey (2015) observaram vários eventos pluviais em um campo experimental agrícola localizado em Roorkee, uma cidade ao norte da Índia, a fim de avaliar os efeitos das características dos solos locais, inclinação e umidade antecedente na metodologia do SCS-CN. Os autores propuseram uma nova equação de determinação do parâmetro CN, e notaram que os valores determinados foram consideravelmente diferentes dos valores convencionais, devido principalmente a um maior grau de dependência da umidade local.

No Brasil, vários autores estão procurando aperfeiçoar a utilização do parâmetro CN para diversas regiões, de modo a obter um valor seguro para as características locais, seja de solo, cobertura e/ou manejo.

Araújo Neto et al. (2012) validaram o CN para diferentes manejos da vegetação caatinga no semiárido brasileiro, através de dados de precipitação e escoamento. Os resultados mostraram que o manejo da vegetação influencia na produção de escoamento, refletindo, assim, nos valores de CN. Os valores gerados, segundo os autores, podem ser utilizados para estimativa de escoamento superficial

em condições similares ao estudado, sendo que os resultados se encontraram próximos aos tabelados para outros países.

Ajmal et al. (2015) afirmam que na aplicação do método SCS-CN, o número de curva derivada empiricamente é válido para um complexo hidrológico uniforme de cobertura do solo, enquanto que um CN ponderado é frequentemente usado para bacias com condições variáveis no tipo, cobertura e uso do solo.

Assim, o método SCS-CN é baseado na associação das características da região, sendo umidade antecedente, tipos e coberturas, e características hidrológicas (grupos hidrológicos) do solo do local a ser estudado.

2.5.1 Precipitação e Umidade Antecedente

A quantificação da precipitação e do escoamento superficial é uma das etapas mais importantes, tanto na engenharia, quanto na gestão de bacias hidrográficas, pois permite previsões de respostas na mesma. Este processo não linear depende das condições antecedentes da bacia hidrográfica, que são comumente relacionadas ao teor inicial de água do solo (DURÁN-BARROSO, GONZÁLES e VALDÉS, 2016).

Nas versões iniciais do modelo do *Natural Resources Conservation Service* (NRCS-CN), as condições de umidade anteriores à precipitação, ou seja, ao conteúdo de água do solo, eram estabelecidas em três níveis denominados Condições Antecedentes de Umidade (AMC), ligadas às condições seca (AMCI), capacidade de campo (AMCII) e saturada (AMCIII). Nas versões mais recentes, a AMC não é mais considerada como parte do modelo NRCS-CN, e sim denominada “Condições Antecedentes de Escoamento” (ARC), que integra todos os fatores significativos (USDA - NRCS, 2009): intensidade e duração da chuva, precipitação total, condições de umidade do solo, densidade da cobertura, estágio de crescimento e temperatura.

De acordo com Durán-Barroso, Gonzáles e Valdés (2016), uma vez que os níveis de ARC foram estabelecidos, é necessário determinar o valor de CN mais apropriado para cada nível. Nas versões iniciais do *National Engineering Handbook* (NRCS), AMC e ARC foram correlacionados com a precipitação antecedente de 5 dias (Índice Antecedente de Precipitação, API), adicionando um fator de correção para estações em crescimento e dormência.

Com base nas características da bacia hidrográfica e das chuvas anteriores, o ARC é dividido em três classes, ARC I (seco), ARC II (capacidade de campo) e ARC III (saturado). O status do ARC II é considerado como a condição de referência e é a base para os valores de CN de tabelas do Manual Nacional de Engenharia (AJMAL et al., 2015).

Durán–Barroso, Gonzáles e Valdés (2016) relatam ainda que a variável de conteúdo de umidade do solo deve ser usada apenas para modelar o comportamento de escoamento quando as condições prévias e a resposta da bacia hidrográfica estão correlacionadas. Em outros casos, a variabilidade da umidade antecedente do solo pode não ser útil para a estimativa de escoamento. Nesses casos, sugere-se que se estabeleça um valor fixo como condição inicial. Assim, os autores afirmam que ARC e AMC podem ser consideradas como intrinsecamente equivalentes em seu uso.

2.5.2 Tipo e Cobertura de Solos

Os solos regulam e modificam os fluxos de material e energia na superfície terrestre e, portanto, obter informações suficientes sobre seus atributos é um pré-requisito para muitas avaliações ambientais e de gestão (WAHREN et al., 2016).

A informação sobre o uso do solo, segundo Soares et al. (2017), é importante para o estabelecimento de políticas de gestão de uma bacia, visto que traduz a evolução da ocupação de sua superfície e as atividades de preservação. O estudo do uso e ocupação do solo consiste em caracterizar as categorias de vegetação natural que o revestem, e também a relação com a sua utilização, correlacionado ou não com a ação antrópica, bem como suas localizações (CALZAVARA e FERNANDEZ, 2015).

Estudos sobre o uso e ocupação do solo, em escala de bacia hidrográfica (VANZELA, HERNANDEZ e FRANCO, 2010; CORNELLI et al., 2016; NASCIMENTO e FERNANDES, 2017), vêm se tornando cada vez mais necessários para as pesquisas, principalmente quanto ao melhor uso, tanto para atividades urbanas, como atividades agrícolas. Esses estudos, segundo Calzavara e Fernandez (2015), têm possibilitado a compreensão da atual localização dos sistemas agrícolas, industriais, urbanos, entre outros.

Trabalhos pautados na análise do mapeamento entre o meio urbano e rural podem indicar e alertar para os possíveis problemas gerados pela expansão desordenada, como também para subsidiar o diagnóstico das possíveis irregularidades do uso da terra.

A cobertura vegetal, conforme Araújo Neto et al. (2013), é uma das variáveis de maior influência na resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica, pois a eliminação do dossel vegetal torna a superfície do solo mais exposta à ação direta das gotas das chuvas sobre o solo, e ao livre movimento da água na superfície, diminuindo o tempo de infiltração e, conseqüentemente, a maior geração de escoamento superficial.

Por outro lado, mudanças no padrão de uso do solo, como a urbanização, afetam os processos hidrológicos, uma vez que alteram substancialmente as características naturais do mesmo, gerando remoção da cobertura vegetal, compactação, redução da permeabilidade e desagregação, favorecendo o escoamento e os processos erosivos, com conseqüente comprometimento da qualidade de água dos mananciais da bacia (SANTOS e LOLLO, 2016).

Bernardi, Righes e Buriol (2015) determinaram o impacto da alteração da cobertura do solo no escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Conceição, na região noroeste do Rio Grande do Sul, analisando a alteração da cobertura do solo e aplicando modelo hidrológico para cálculo de vazão em dois cenários distintos. Os autores concluíram que ocorreu redução de áreas com solo desnudo e aumento de áreas com cultivos agrícolas, entre as décadas de 1980 e 2010, havendo decréscimo na capacidade de gerar escoamento superficial, embora as vazões estimadas a partir do método Curva Número tenham sido semelhantes nos períodos analisados.

No mesmo sentido, Pinheiro et al. (2018) avaliaram a influência da retirada da cobertura vegetal nas perdas de água e solo, para diferentes lâminas de chuvas, entre menores do que 20 mm e maiores do que 80 mm, em Iguatu, Ceará. Foram monitoradas duas parcelas de erosão considerando solo exposto e com pastagem, ambos em um Vertissolo. Os autores concluíram que a cobertura de pastagem ocasionou menores perdas de água e solo em relação aos solos expostos. Os resultados encontrados evidenciam a importância da cobertura vegetal na redução

das perdas de água e solo e a forte influência da concentração de chuvas da região nos processos hidrológicos.

A remoção e substituição da cobertura vegetal original para a implantação de atividades humanas, por exemplo, agricultura, pecuária e benfeitorias, estabelece o ponto de partida das transformações sobre os elementos do sistema ambiental (SIMON, FELIPIIM e LOPES, 2017).

Segundo os autores, a utilização de recursos hídricos para a manutenção dos usos da terra, rural ou urbana, tem provocado alterações na rede de drenagem, acarretando implicações nos processos erosivos, que pode também acelerar ou desencadear devido às práticas agrícolas sem os devidos cuidados com o solo.

Heberle et al. (2017) complementam que o desmatamento e a degradação florestal causam a mudança de clima, alteram os processos de ciclagem de nutrientes, ameaçam a fauna e a flora ao destruir seu habitat, comprometem rios e bacias hídricas e contribuem para o enfraquecimento do solo e a ocorrência de erosão. Além disso, concluem os autores, solos com pouca cobertura vegetal diminuem a infiltração da água, aumentando a ocorrência de eventos como enchentes e inundações, causando graves transtornos.

A disponibilidade de água no solo desempenha um papel vital na produtividade das culturas. Os modelos agrícolas e hidrológicos usam frequentemente o esgotamento da água do solo para estabelecer o momento de irrigar. Assim, a umidade do solo é uma variável chave do estado hidrológico, o que é de grande interesse entre os agricultores, meteorologistas e hidrólogos (UNIYAL et al., 2017).

Assim, uma adequada visão da variabilidade da umidade do solo possibilita aos pesquisadores entender os mecanismos relacionados aos processos no ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica, bem como as atividades de cultivo, o controle da irrigação e o gerenciamento dos recursos hídricos.

As diferentes classes de solos apresentam características diferenciadas quanto aos processos hidrológicos, mesmo em condições semelhantes de topografia, cobertura vegetal e práticas de manejo. Araújo e Mamede (2018) estudaram o comportamento hidrológico na bacia de Orós, localizada no estado do Ceará. A análise das características físicas da bacia, por estatística multivariada, possibilitou a identificação da influência das classes de solo, declividade, vegetação

e geologia na geração do escoamento. Com relação às classes de solo, os resultados mostraram que o Vertissolo respondeu por 23,95% do escoamento gerado na bacia, mesmo sendo o solo em menor proporção em área na localidade.

2.5.3 Grupos Hidrológicos de Solos

O fundamento utilizado na determinação dos grupos hidrológicos dos solos baseia-se no princípio destacado no trabalho original do *Soil Conservation Service* (SCS, 1972). Assim, as probabilidades de ocorrência de uma chuva intensa, responsável pelo escoamento superficial utilizado no dimensionamento de obras de controle de cheias, podem ser representadas por um parâmetro hidrológico, cujo fundamento está na taxa de infiltração mínima, obtida para um solo nu, após umedecimento prolongado. Desta forma, os grupos hidrológicos são determinados para a situação crítica, ou seja, infiltração mínima e escoamento superficial máximo, considerando as características (tipo) do solo.

A Classificação Hidrológica de Solos foi inicialmente proposta por Musgrave (1955), para a estimativa da infiltração de água no solo. Neste trabalho pioneiro foram analisados vários dados de infiltração, sendo a maioria resultados de testes com infiltrômetros, que não se resumiam a um único tipo de equipamento, mas realizados para complexos hidrológicos bem definidos, permitindo assim comparações relativas. A base de comparação foi a capacidade mínima de infiltração, ou seja, a taxa mínima de infiltração, razoavelmente constante, a qual representa a condição de um dado complexo hidrológico completamente saturado, por chuvas antecedentes (SARTORI e GENOVEZ, 2011).

As definições dos grupos hidrológicos apresentados posteriormente pelo SCS, através da *Technical Release 55* (TR-55, 1986), utilizados atualmente como referência em muitos trabalhos, basearam-se nas características a seguir:

Grupo A: solos com baixo potencial de escoamento e alta taxa de infiltração uniforme, quando completamente saturados, compreendendo areias ou cascalhos, profundos e excessivamente drenados;

Grupo B: solos contendo moderada taxa de infiltração, quando completamente saturados, compreendendo principalmente solos moderadamente

profundos a profundos, moderadamente a bem drenados, com textura moderadamente fina a moderadamente grossa;

Grupo C: solos contendo baixa taxa de infiltração, quando completamente saturados, principalmente com camadas que dificultam o movimento da água através das camadas superiores para as inferiores, com textura moderadamente fina;

Grupo D: solos que possuem alto potencial de escoamento, tendo uma taxa de infiltração muito baixa, quando completamente saturados, principalmente solos argilosos, com alto potencial de expansão. Pertencem a este grupo os solos com permanência do nível do lençol freático elevado, bem como solos com argila dura ou camadas de argila próxima da superfície e solos expansivos, agindo como materiais impermeabilizantes próximos da superfície.

As taxas mínimas de infiltração para cada grupo hidrológico, de acordo com a *Technical Release 55* (TR-55, 1986) são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de taxas mínimas de infiltração de água no solo, conforme os grupos hidrológicos.

Grupo Hidrológico	Taxas mínimas de infiltração (mm h ⁻¹)
A	> 7,62
B	3,81 – 7,62
C	1,27 – 3,81
D	< 1,27

Fonte: *TECHNICAL RELEASE 55* (TR-55, 1986).

Os grandes grupos empregados nos Estados Unidos e em diversos outros países foram simplificados, conforme a capacidade de infiltração e produção de escoamento em: A (baixo potencial de escoamento); B (moderado potencial de escoamento); C (alto potencial de escoamento); e D (muito alto potencial de escoamento). No grupo “A” estão as areias bem graduadas e profundas, com alta taxa de infiltração e em “D”, as argilas compactas, com baixíssima taxa de infiltração, e em sua essência, são aceitos e utilizados no Brasil, porém, a carência de dados, especialmente de condutividade hidráulica, contribuiu para a necessidade de que as

características dos solos, correspondentes a cada grupo hidrológico sejam consideradas para cada país, estado, município, ou até região, de modo que as particularidades dos solos regionais, conjuntamente com os dados de estudos disponíveis fossem aproveitados para uma classificação hidrológica mais adequada.

A preocupação em adaptar a classificação hidrológica às características dos solos brasileiros teve início com o trabalho de Setzer e Porto (1979), cuja proposta iniciou com cinco classes hidrológicas de solos para o estado de São Paulo.

A classificação de Lombardi Neto et al. (1989) é a mais prática e direta, pois os grupos hidrológicos são determinados a partir da localização da bacia hidrográfica no mapa pedológico, ou seja, são consideradas a capacidade de infiltração de água no solo e consequente produção de escoamento, conforme o tipo de solo. Essa metodologia não contrapõe a original do SCS (1972), porém, a criticidade em relação às propriedades dos solos estudados por Lombardi Neto et al. (1989) foi superior, tanto que alguns solos arenosos se enquadraram no grupo D, enquanto que alguns argilosos, no grupo A. Além da taxa mínima de infiltração de água, os autores levaram em consideração as características dos solos em relação à resistência à erosão, evidenciando profundidade, textura e porosidade.

Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005a) propuseram uma extensão da classificação hidrológica de Lombardi Neto et al. (1989), visto às peculiaridades dos solos brasileiros, frente às características dos grupos hidrológicos.

Conforme Jejurkar e Rajurkar (2015), a determinação da taxa de infiltração de água do solo é importante em estudos que envolvem a irrigação e drenagem, porém sua obtenção pode ser demorada, caso se pretenda que a mesma seja a mais representativa possível da área. Essa ponderação é corroborada por Soares (2018), que complementa afirmando que o atributo apresenta elevada variabilidade espacial, especialmente em combinação de relevo montanhoso, classes variadas e diferentes usos de solo.

A taxa de infiltração de água no solo diminui com o tempo até atingir valor constante, que é equivalente à condutividade hidráulica do solo saturado, que, de acordo com Soares (2018), influencia no comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica.

Estudos sobre a taxa mínima de infiltração de água em solos são escassos no Brasil, porém, alguns demonstram que os solos brasileiros possuem comportamento diferenciado, comparativamente à classificação original desenvolvida.

O objetivo do trabalho de Silva et al. (2017) foi estimar a produção de sedimentos a partir do modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), na bacia hidrográfica do rio São Francisco, que abrange áreas dos estados da Bahia e Pernambuco, na condição atual de uso e ocupação do solo. As características físico-hídricas de cada classe de solo estudada foram mencionadas, dentre elas, o grupo hidrológico e a condutividade hidráulica do solo saturado. Os grupos hidrológicos A e B, em maior proporção na localidade, apresentaram valores de condutividade hidráulica muito acima dos valores apresentados na Tabela 1: 56,6 e 79,1 mm h⁻¹, para o grupo A e 10,8 e 12,5 mm h⁻¹, para o grupo B, respectivamente.

O estudo de Padrón et al. (2015) visou caracterizar os parâmetros físico-hídricos do solo Argissolo amarelo para o estabelecimento de projetos e manejos em irrigação por gotejamento. Ao caracterizarem o solo presente na região de Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul, encontraram valores de 13 a 15 mm h⁻¹ de taxa de infiltração para solos drenados (com dreno de 1,0 m de profundidade) e não drenados, respectivamente. Comparando com a classificação da *Technical Release 55* (TR-55, 1986), os valores encontrados também estão elevados, para todas as classificações, inclusive para o grupo A. Cabe ressaltar que o solo estudado, devido às suas características, se classificaria nos grupos hidrológicos C ou D e, portanto, com baixas taxas de infiltração de água no solo.

Da mesma forma, Jejurkar e Rajurkar (2015) encontraram valores de taxas de infiltração elevados em relação à TR-55 (1986). Os autores estudaram a infiltração de água em um solo argiloso na região de Maharashtra, na Índia, e verificaram uma variação da taxa de infiltração entre 1,5 e 22,4 mm h⁻¹.

Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005a) propuseram uma classificação hidrológica de solos alternativa para o uso com o método CN, a qual foi aplicada à perfis de solos brasileiros, sendo os resultados comparados com os da classificação hidrológica de solos revisada do NRCS. As análises realizadas com a classificação hidrológica proposta indicaram que ela é viável e tecnicamente possível, concluindo que a alternativa proposta é adequada à realidade brasileira.

Vários trabalhos foram realizados utilizando a classificação hidrológica proposta por Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005a), em diversas regiões do Brasil, inclusive para a região sul brasileira, desde sua publicação até os dias atuais.

Por exemplo, Tassi et al. (2006) analisaram eventos de precipitação e ajustaram valores do parâmetro CN para cada evento em algumas sub-bacias urbanas, no município de Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul, utilizando a classificação hidrológica proposta por Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005a).

Montenegro et al. (2009) avaliaram o potencial hídrico de bacias hidrográficas da Ilha de Fernando de Noronha, com objetivo de colaborar com a gestão da água no local. Cinco bacias representativas foram caracterizadas de acordo com Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005a), em relação aos grupos hidrológicos dos solos, e a precipitação efetiva foi estimada através do método Curva Número. Também foram investigadas as características de infiltração dos principais solos do arquipélago, verificando-se que, em geral, as bacias têm elevado potencial de escoamento.

No estudo de Rodrigues, Gupta e Mediondo (2014) foi realizada a análise de uma bacia agrícola pertencente ao sistema de abastecimento de água da Cantareira, em São Paulo, com a utilização do modelo SWAT, cujos dados relativos aos grupos hidrológicos também foram extraídos de Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005a).

No mesmo contexto, Pereira et al. (2016) calibraram e validaram o modelo SWAT para uma sub-bacia da bacia do rio Pomba, na região sudoeste brasileira, a fim de obter um modelo que pudesse ser usado para estimar a disponibilidade de água e o planejamento do uso e ocupação do solo. Em relação aos grupos hidrológicos dos solos da bacia em questão, os autores também consideraram a classificação proposta por Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005a).

Outro trabalho que utilizou a classificação para solos hidrológicos foi o de Monte et al. (2016), cujo objetivo foi propor um mapeamento de áreas inundáveis no município de Rio Largo, Alagoas, na bacia hidrográfica do Mundaú, através de modelos hidrológicos, considerando eventos de cheias extremas com diferentes tempos de retorno de vazão.

Possantti e Dornelles (2017) abordaram o uso hipotético de um banhado de chuva como técnica compensatória dos impactos da urbanização nas águas superficiais em uma sub-bacia localizada na bacia hidrográfica do arroio do Salso,

em Porto Alegre/RS, também utilizando a classificação de grupos hidrológicos proposta pelos autores referenciados.

O objetivo do trabalho de Batista e Boldrin (2018) foi avaliar o desempenho hidráulico do sistema de drenagem de águas pluviais urbanas de um campus universitário da Universidade Estadual de Campinas, identificando eventuais inundações locais. Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005a) foram citados, referenciando os grupos hidrológicos identificados nesse trabalho.

Ressalta-se, ainda, dois trabalhos que utilizaram a classificação hidrológica proposta por Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005a) para solos brasileiros, em localidades peculiares do país: Pozzobom (2013) analisou a suscetibilidade a deslizamentos no município de Blumenau, Santa Catarina; Oliveira et al. (2018) estudaram diferenças de precipitação e evapotranspiração em áreas da região amazônica, também associando os solos hidrológicos.

A técnica da definição de Unidades de Resposta Hidrológica (URH) foi utilizada no trabalho apresentado por Fan et al. (2015), cujo objetivo foi identificar regiões hidrologicamente homogêneas dentro de uma bacia. Os autores utilizaram combinação de mapas de tipo e uso do solo, bem como informações sobre geologia e topografia. O mapa de URH foi testado em uma simulação na bacia hidrográfica do rio Paraná, obtendo-se resultados satisfatórios em relação à confiabilidade do mapa. Neste, os solos foram classificados em quatro classes, em relação à geração de escoamento e capacidade de armazenamento de água.

Além do tipo de solo, a infiltração de água também é influenciada pelo uso e cobertura de determinada região, sendo fundamental o estudo dessa sinergia para tomada de decisões relacionadas a obras de engenharia, especialmente.

2.6 Geotecnologias

As geotecnologias constituem o conjunto de tecnologias que permite a realização de coleta de dados e processamento, além da análise de informações georeferenciadas e que, consequentemente, favorecem a tomada de decisões (SOUZA et al., 2017).

De acordo com Correia, Ribeiro e Baptista (2015), a utilização de geotecnologias, juntamente com os modelos matemáticos, permite averiguar a dinâmica hidrológica e hidráulica de uma bacia hidrográfica. Como consequência, a tomada de decisão baseada no resultado da aplicação destas técnicas pode minimizar os impactos decorrentes de eventos extremos.

Segundo Silva e Rosa (2017), o uso das geotecnologias para o planejamento do uso sustentável dos recursos naturais tem se difundido e facilitado o desenvolvimento de estudos ambientais. Os resultados obtidos têm aprimorado as técnicas e ferramentas de coleta, armazenamento, processamento, análise, previsão e simulação de dados espaciais e temporais, em diferentes níveis e para diferentes localidades, em estudos ambientais e hidrológicos.

Silva et al. (2018) ressaltaram que estudos interpretativos de mapas de solos de uma perspectiva hidrológica são essenciais para melhorar a compreensão dos excedentes de água em uma determinada região.

Pereira, Guimarães e Oliveira (2018) discutiram potencialidades e limitações na utilização de geotecnologias gratuitas para fins de avaliação do uso e cobertura da terra. O local de estudo foi a bacia do córrego Dornelas/MG, utilizando os *softwares* QGIS e Google Earth Pro (GEP), de forma integrada. Os autores utilizaram dados disponíveis na base do GEP e dados coletados a campo. A caracterização das coberturas do solo, realizada a campo, forneceu subsídios para a interpretação das imagens e o mapeamento do uso/cobertura da terra no QGIS, com auxílio do GEP. Os autores concluíram que essas geotecnologias são complementares, sendo sua integração simples e considerada eficaz na referida avaliação.

Os Sistemas de Informação Geográfica, com a sua capacidade de geração de bancos de dados espaciais e processamento das informações, constituem uma ferramenta que facilita a obtenção da descrição espacial detalhada da região de estudo. Dentre as variáveis comumente utilizadas como dados de entrada em modelos hidrológicos que podem ser obtidas com o auxílio dos SIG, e de imagens e produtos de sensoriamento remoto, pode-se citar o tipo e uso do solo, cobertura vegetal, relevo e distribuição de feições hidrológicas (FAN e COLLISCHONN, 2014).

2.6.1 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Os estudos hidrológicos usam variadas fontes de dados representados no ambiente de um SIG, para entender e gerenciar as questões ambientais relacionadas aos recursos hídricos. A aplicação na gestão destes recursos faz desses *softwares* uma ferramenta capaz de desenvolver soluções para questões como abastecimento de água, proteção contra enchentes, conflitos no uso dos recursos hídricos e degradação pelo desenvolvimento econômico (CORREIA, RIBEIRO e BAPTISTA, 2015). Aliado ao mapeamento de uso e ocupação do solo, a utilização de SIG, segundo Calzavara e Fernandez (2015), permite a visualização e a identificação direta dos elementos representados em produtos cartográficos.

De acordo com Correia, Ribeiro e Baptista (2015), a utilização de SIG permite que o levantamento e o processamento dos dados sejam realizados mais rapidamente, obtendo-se resultados mais consistentes e confiáveis.

Assim, a utilização de SIGs é eficaz no monitoramento de bacias hidrográficas à distância, pois são possíveis análises através de imagens de satélite em conjunto com outros dados espaciais georeferenciados (CALZAVARA e FERNANDEZ, 2015). Lessa et al. (2013) afirmam que a integração do SIG com os modelos hidrológicos e a sua aplicação em bacias hidrográficas permite a realização de um grande número de operações, como o projeto, calibração, simulação e comparação entre os modelos. O uso do SIG permite, ainda, subdividir a bacia hidrográfica em subáreas homogêneas.

O conhecimento da cobertura vegetal é um indicador importante para promover estudos sobre a utilização dos solos, porém, grande número de imagens de alta resolução espacial possui custos elevados, o que se torna um limitante em relação ao emprego dessas imagens. Entretanto, segundo Valadares et al. (2017), o Google Earth facilita estudos que necessitam de imagens em alta resolução espacial gratuitas, facilitando esses tipos de trabalhos.

As características fisiográficas de bacias hidrográficas são todos os dados que podem ser extraídos de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélites com auxílio de SIGs, podendo-se analisar diversas questões relacionadas com a dinâmica ambiental local e regional, principalmente vinculadas ao comportamento hidrológico de bacias hidrográficas. Os SIGs apresentam importância expressiva para os

estudos que compõem análises ambientais, principalmente hidrológicas, pois permitem sobrepor diversas informações espaciais da bacia hidrográfica e apresentam ambiente interativo de trabalho, onde grande quantidade de dados pode ser analisada e processada em um mesmo momento, gerando resultados com certa acurácia (WENZEL et al., 2017).

3 Material e Métodos

3.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

Foram utilizados os estudos dos solos dos municípios que compreendem a bacia hidrográfica do arroio Moreira, na escala 1:50.000, conforme mapeamentos de Cunha, Silveira e Severo (1996) e Cunha e Silveira (1996ab). Foi realizado um ajuste na região de interesse e nos dados pedológicos. As classes de solos desse mapa foram atualizadas e reclassificadas, conforme EMBRAPA (2013), obtendo-se o novo mapa de tipos de solos da região.

A bacia hidrográfica do arroio Moreira pertence à grande Bacia Hidrográfica Litorânea, do sistema hidrográfico do estado do Rio Grande do Sul (SEMA, 2016), situando-se no extremo sul do Estado, entre os paralelos 31°36' a 31°49' sul e os meridianos 52°21' a 52°38' oeste, com uma área de aproximadamente 228 km², abrangendo os municípios de Capão do Leão (65,5 km²), Morro Redondo (31,0 km²) e Pelotas (131,0 km²).

O local se divide em nove sub-bacias, sendo a Fragata a de maior área, com 73 km², constituindo cerca de 30% da área total da bacia, abrangendo os municípios de Pelotas e Capão do Leão (Figura 2).

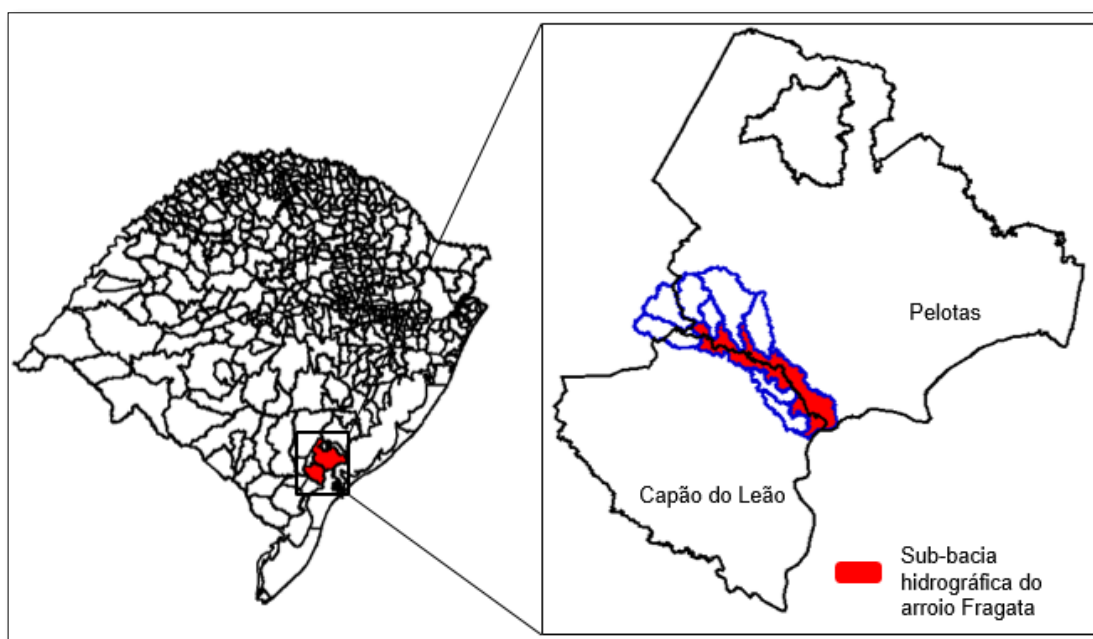


Figura 2 – Localização da bacia hidrográfica do arroio Moreira e sub-bacia Fragata.

Ao norte da BHAF, nas proximidades do município de Morro Redondo, predominam as coxilhas, característica de relevo levemente acidentado, onde são encontrados os Argissolos, enquanto que nas várzeas, com relevo mais plano, nas regiões central e sul da sub-bacia, os Planossolos e Gleissolos.

A atividade rural de produção leiteira, baseada em sistemas de preparo e plantio convencional de pastagem e milho para grãos e silagem é predominante na região. Além disso, existem florestas de eucalipto e acácia, sítios de lazer e atividade de captação e tratamento de água para abastecimento humano, incluindo também uma diversificada área urbana.

Os solos com maior representatividade na sub-bacia Fragata, considerando a atual classificação brasileira de solos (EMBRAPA, 2013), são os Gleissolos, Planossolos e Argissolos.

3.2 Determinação dos Grupos Hidrológicos

Para a determinação dos grupos hidrológicos, os solos da sub-bacia Fragata foram agrupados, a partir dos estudos de Cunha e Silveira (1996ab), em relação aos solos dos municípios de Capão do Leão e de Pelotas, disponibilizados através da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), e corroborados por Streck et al. (2008).

A classificação taxonômica dos perfis constantes nos referidos levantamentos foi atualizada conforme a terceira edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013), sendo as unidades de mapeamento redefinidas.

A partir da classificação dos solos locais, fez-se a identificação dos Grupos Hidrológicos aos quais estes tipos de solos pertencem, conforme as características descritas por Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005a), e também em aplicações publicadas em seus trabalhos posteriores, corroborando com a classificação proposta.

3.3 Determinação do Parâmetro Curva Número (CN)

O parâmetro Curva Número (CN) do local de estudo foi determinado através da sinergia entre os grupos hidrológicos dos solos, e suas respectivas coberturas; para cada duo (solo-cobertura), foi identificado o valor CN conforme USDA-NRCS (2004) (Anexo A). O CN total da sub-bacia Fragata foi determinado através da média ponderada, relacionando os valores CN de cada grupo hidrológico de solo e sua respectiva cobertura ao percentual de ocupação na área total da sub-bacia.

Nas estimativas para o CN, em curvas de escoamento demonstradas em USDA-NRCS (2004) foi utilizada como referência a Condição de Escoamento Antecedente intermediária (ARC II). De acordo com Ajmal et al. (2015), a ARC II deve ser utilizada como padrão em estudos estimativos, quando não se dispõe de dados reais de condições antecedentes de umidade do solo. Assim, a ARC II também foi considerada neste estudo.

Através da expressão (1), a área de cada classe solo/cobertura foi relacionada ao respectivo valor de CN, obtendo-se o valor deste parâmetro para a totalidade da BHAF, onde CNpond (valor Curva Número, adimensional); CNc (valor curva número de cada classe de solo/cobertura, adimensional); Ac (área de cada classe de solo/cobertura, ha); At (área total da bacia, ha):

$$CN_{pond} = \sum \frac{[CN_c (A_c)]}{A_t} \quad (1)$$

3.4 Obtenção de Mapas

O Sistema de Informação Geográfica empregado foi o Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING), versão 5.5.2 (CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO, 2001), distribuído pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); no sistema, foi criado e armazenado o banco de dados, efetuado o georeferenciamento dos mapas e a manipulação dos dados gerados.

As coberturas dos solos da sub-bacia Fragata foram determinadas através da utilização do programa Google Earth Pro (Google), cuja imagem utilizada datou de 30 de dezembro de 2016. Através da ferramenta “adicionar polígono”, cada área de

cobertura foi delimitada manualmente, e classificada em: áreas alagadas, áreas urbanizadas, pastagem, bosque e solo exposto. A interpretação foi feita em observação às formas, tamanhos, cores e texturas. Para sanar dúvidas em relação aos usos/coberturas dúbios, foram utilizadas imagens disponíveis em anos anteriores, no próprio Google Earth Pro.

Além do mapa de cobertura obtido através do Google Earth, foram gerados os seguintes mapas na categoria temática, no SPRING: classificação dos solos [reclassificado conforme EMBRAPA (2013)], identificação dos grupos hidrológicos de solos, identificação dos tipos de coberturas dos solos.

Finalmente, o mapa do parâmetro CN para cada tipo de cobertura do solo foi gerado na categoria numérica, através de uma álgebra booleana, com estabelecimento de uma condição entre o tipo de cobertura e o grupo hidrológico de solo correspondente, com os valores de CN já identificados, de acordo com USDA-NRCS (2004) (Anexo A). Esta álgebra foi realizada através da Linguagem Especial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), uma linguagem de consulta e manipulação espacial de realização de operações. A operação álgebra booleana condicional, que gerou a matriz numérica com os valores de CN para a sub-bacia Fragata, encontra-se como apêndice deste documento (Apêndice A).

Após, este mapa numérico foi transformado em temático através de um fatiamento numérico, e as combinações cobertura e solo hidrológico geraram as classes de valores CN.

3.5 Determinação do Hidrograma de Escoamento Superficial

Foi utilizada a relação Intensidade – Duração – Frequência (IDF) obtida para o município de Pelotas/RS (DORNELES, 2017), onde I é a intensidade de chuva (mm h^{-1}); Tr o período de retorno (anos) e t a duração da chuva (min) (Equação 2):

$$I = \frac{1100 * Tr^{0,163}}{(t+16,47)^{0,766}} \quad (2)$$

A duração da chuva (t) foi estabelecida através da estimativa do tempo de concentração (T_c), pela equação de Kirpich (SILVEIRA, 2005, adaptada de Kibler, 1982), onde T_c é o tempo de concentração (h), L é o comprimento do rio principal (km) e S é a declividade média ($m\ m^{-1}$) (Equação 3):

$$T_c = 0,0663(L)^{0,77}(S)^{-0,385} \quad (3)$$

Os valores utilizados para os cálculos foram área da sub-bacia Fragata (A_t) $73\ km^2$; comprimento do rio principal (L) $28\ km$, e declividade média (S) $127\ m\ m^{-1}$.

Foram calculados valores de intensidade de chuva em intervalos de duração de 10 min, até ultrapassar o tempo de concentração, para períodos de retorno de 10, 50 e 100 anos.

O hietograma de projeto foi obtido a partir do método dos blocos alternados (MARCELLINI, 1994), cujas etapas, após a determinação das intensidades de precipitação para cada duração a partir das equações (2) e (3) foram: (a) transformação das intensidades em alturas de precipitação e acumulados até o último intervalo de tempo [$P(mm\ s^{-1})$], multiplicando cada valor de intensidade de chuva (I) pela sua respectiva duração (t), em mm; a precipitação desacumulada foi obtida para cada duração de chuva, diminuindo-se cada valor de precipitação acumulada da anterior; (b) rearranjo dos incrementos ou blocos, obtidos em uma sequência de modo que, no centro da duração da precipitação, se situe o bloco maior e, em seguida, os demais.

Para a obtenção do hietograma de projeto efetivo foi utilizado o método do *Soil Conservation Service* (SCS, 1972; SINGH et al., 2008), que considera a relação entre o armazenamento máximo (S , mm), a precipitação máxima acumulada (P , mm), a precipitação efetiva acumulada (P_e , mm), a quantidade armazenada no instante ($P - P_e$), as abstrações iniciais ($I_a = 0,2S$) e o parâmetro Curva Número, CN (Equações 4 e 5):

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (4)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (5)$$

A precipitação efetiva foi calculada através das Equações 4 e 5, utilizando-se como P o rearranjo acumulado da precipitação total para cada intervalo de tempo. A partir disso, obteve-se a precipitação efetiva desacumulada, em que os valores maiores do que zero corresponderam ao escoamento superficial para cada precipitação total correspondente.

Para o parâmetro Curva Número (CN), o valor adotado foi o identificado no presente estudo, em função das características de tipo e cobertura do solo da localidade, fazendo-se uso da tabela USDA-NRCS (2004) (Anexo A).

Para a verificação do parâmetro CN foi utilizada a relação entre a precipitação efetiva e a lâmina total precipitada, considerando-se 0,40 para bacias rurais e 0,60 para bacias urbanas, valores referentes ao coeficiente C do Método Racional (DAMÉ et al., 2010).

Os cálculos realizados até aqui, em planilha Excel, que geraram os gráficos das precipitações totais e efetivas para a sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata, para os períodos de retorno de 10, 50 e 100 anos, encontram-se nos Apêndices B, C e D, respectivamente.

Posteriormente, foram estimados os parâmetros do hidrograma unitário sintético triangular do SCS (1972), cuja metodologia consistiu, inicialmente, da estimativa do hidrograma unitário curvilíneo da área de estudo, adotando-se um valor de duração da chuva ($t_r = 1,67t_p$), sendo t_p , o tempo de instante de pico (h); calculou-se o tempo entre a metade da precipitação e o instante de pico ($t_p = 0,6t_c$), sendo t_c , o tempo de concentração (h); o tempo entre o início e o fim do escoamento superficial, ou seja, o tempo de base ($t_b = t_m + t_r$), sendo t_m , o tempo de ascensão (h); a vazão de pico [$Q_p = (0,208A)/t_p$], onde A é a área de drenagem (km²) e t_p , o tempo de instante de pico (h).

A partir dos valores obtidos de t_p e Q_p , obtiveram-se as ordenadas do hidrograma unitário da área, através do hidrograma unitário adimensional (SCS,

1972). Para a estimativa do hidrograma de escoamento superficial foram utilizadas as ordenadas do hidrograma unitário e os valores de precipitação excedentes obtidos anteriormente, conforme Apêndices B, C e D (tempos de retorno de 10, 50 e 100 anos, respectivamente). As precipitações efetivas foram aplicadas a todas as ordenadas do hidrograma unitário, sendo desprezadas as precipitações entre um intervalo de tempo e outro, a fim de simular o deslocamento da precipitação, e realizar a convolução, somando-se cada linha obtida, gerando-se as vazões de escoamento em cada intervalo de tempo.

4 Resultados e Discussão

4.1 Tipos de Solos

Na Tabela 2 constam os tipos de solos encontrados na BHAF, bem como suas respectivas nomenclaturas atualizadas a partir da última versão do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBCS/EMBRAPA, 2013).

Em função da existência de informações e de mapas de solos com nomenclaturas ultrapassadas, inclusive para a região de estudo, propôs-se a correspondência entre a nomenclatura antiga utilizada para os solos locais, e a nomenclatura atual do SBCS (EMBRAPA, 2013).

As classificações de solos anteriormente utilizadas em trabalhos científicos, inclusive por Cunha e Silveira (1996ab) e Cunha, Silveira e Severo (1996), foram correlacionadas com o atual Sistema de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013), considerando as nomenclaturas e características associadas a cada classificação, em 1º nível categórico.

Tabela 2. Reclassificação dos tipos de solos da sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.

Solo (simbologia)	Classificação	
	CUNHA e SILVEIRA (1996ab); CUNHA, SILVEIRA e SEVERO (1996)	EMBRAPA (2013)
BLi	Glei húmico, solo orgânico tiomórfico salino (Banhados lacustres inundados)	Gleissolo
BLx	Complexo LBg e BLi (Complexo do São Gonçalo)	Gleissolo
LBg	Glei húmico, glei pouco húmico e solonchak (Planície do São Gonçalo)	Gleissolo
PL	Podzólico hidromórfico glei húmico (Traços de praia/litoral arenoso)	Gleissolo
5LA (A)	Planossolo, glei pouco húmico e solonetz (Planície alta)	Planossolo

(segue)

(continuação)

Classificação		
Solo (simbologia)	CUNHA e SILVEIRA (1996ab); CUNHA, SILVEIRA e SEVERO (1996)	EMBRAPA (2013)
6M	Planossolo hidromórfico cinzento (Lombadas)	Planossolo
Rd	Regossolo, podzólico brunoacinzentado e afloramentos rochosos	Neossolo
PBd1	Podzólico bruno acinzentado, regossolo e afloramentos rochosos	Neossolo
Ba	Glei húmico e solo orgânico (Banhados de riachos)	Organossolo
7C	Podzólico vermelho-amarelo e podzólico vermelho-amarelo planossólico (Colinas cristalinas)	Argissolo

(fim)

Mudanças de critérios de classificação de solos proporcionaram alterações em relação à incorporação de classes de solos em diversos níveis. A correlação de solos com características semelhantes culminou na reestruturação de classes em todos os níveis categóricos, havendo redefinição, reestruturação, extinção e inclusão de classes (EMBRAPA, 2013).

Os tipos de solos identificados na sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata foram em ordem crescente de ocorrência: Planossolo, Gleissolo, Argissolo, Organossolo e Neossolo (Tabela 3).

Tabela 3. Áreas de ocupação das classes de solos da sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.

Classes de solos	Área ocupada (km²)	Área ocupada (%)
Planossolo	37,08	50,8
Gleissolo	19,56	26,8
Argissolo	10,22	14,0
Organossolo	5,84	8,0
Neossolo	0,30	0,4

A classificação dos solos conforme EMBRAPA (2013) para a BHAF pode ser visualizada na Figura 3.

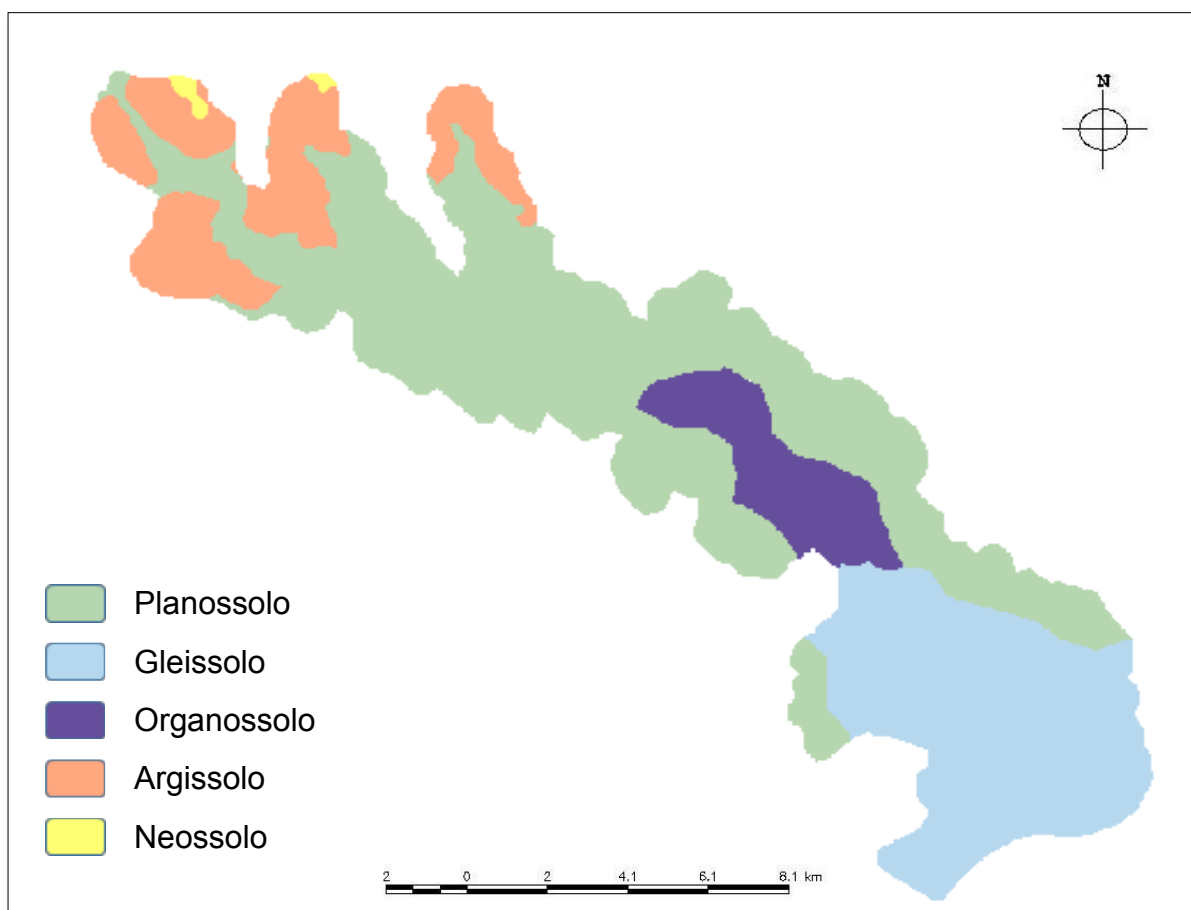


Figura 3 – Mapa da classificação dos solos da sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.

O Neossolo, em menor proporção em relação à área total, encontrado na parte superior da sub-bacia, compreende solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso que não apresenta alterações expressivas ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, por serem solos pouco desenvolvidos (STRECK et al., 2008 e EMBRAPA, 2013). Segundo Streck et al. (2008), a erosão hídrica é favorecida com a utilização desse solo com pastagem, sob lotação excessiva de animais por unidade de área, em virtude da redução da cobertura vegetal do mesmo.

Observou-se através do mapeamento de cobertura do solo da BHAF, que as ocupações relacionadas ao Neossolo são bosque e pastagem, e, sendo este um solo classificado como pertencente ao grupo hidrológico C (SARTORI, LOMBARDI NETO

e GENOVEZ, 2005a), identificando-se uma região com CN em torno de 70, conforme Tabela USDA-NRCS (2004) (Anexo A), com infiltração superior comparativamente a mesma ocupação no grupo hidrológico D.

O Organossolo, identificado na parte central da sub-bacia, compreende solos pouco evoluídos, formados de material orgânico e com hidromorfia. A mineralização da matéria orgânica e a transformação dos resíduos vegetais são lentas em condições naturais. No entanto, a drenagem desses solos para fins agrícolas ou outros conduz a um deslocamento e acelera a decomposição da matéria orgânica, promovendo a sua degradação. Normalmente ocorrem em áreas baixas de várzeas, depressões e locais de nascentes, sob vegetação hidrófila ou higrófila, do tipo campestre ou florestal (EMBRAPA, 2013).

De acordo com Streck et al. (2008), extensões menores de Organossolos, como na região em questão, podem ser encontradas em alagadiços nas planícies de inundação de rios e nas depressões mal drenadas entre coxilhas. São solos em geral com baixa fertilidade química, embora o teor de matéria orgânica seja elevado (STRECK et al., 2008).

Comparando o Neossolo encontrado na parte superior da BHAF e o Organossolo, presente na sua área central, ambos possuem a mesma cobertura predominante, bosque e pastagem, porém, conforme Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005a), o Organossolo se enquadra no grupo hidrológico de solo D, diferentemente do Neossolo, que é representante do grupo C. Essa diferença reflete no valor CN, sendo maior na região onde existe a classe Organossolo, produzindo, conseqüentemente, maior escoamento superficial.

O Argissolo, identificado na parte superior da sub-bacia, compreende solos constituídos por material mineral, com evidente incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B. Os Argissolos são de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, geralmente de cores avermelhadas ou amareladas (EMBRAPA, 2013).

Conforme Streck et al. (2008), os Argissolos ocorrem em relevo desde suave ondulado até forte ondulado, ocupando em termos percentuais a maior parte da área territorial do estado do Rio Grande do Sul. Devido à acidez e baixa fertilidade natural, os Argissolos, segundo os autores, exigem investimentos em corretivos, fertilizantes

e sistemas de manejo para alcançar rendimentos satisfatórios, seja em campo nativo ou lavoura.

Na sub-bacia Fragata, o solo desta ordem identificado é o Argissolo vermelho amarelo (STRECK et al., 2008), cuja característica marcante é a coloração predominante no horizonte B textural, que leva seu nome, e também a indicação de ambientes com boa drenagem. É o principal representante do grupo hidrológico C, presente na BHAF, ocupando pouco menos de 15% da totalidade da sub-bacia, possuindo como principal ocupação bosque e pastagem.

Souza e Galvani (2017) objetivaram determinar o potencial natural à erosão na bacia do rio Jacaré Guaçú, em São Paulo, com base nos fatores físicos da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS). Para isso, foram utilizados dados pedológicos e de precipitação pluvial, além de técnicas de geoprocessamento para estruturar e executar o modelo ambiental que possibilitou a regionalização das áreas de maior risco de ocorrência de processos erosivos.

Em relação às classes de solos verificadas na região da bacia do rio Jacaré Guaçú, o Latossolo predomina, porém, o Argissolo vermelho amarelo possui maior representatividade no baixo curso da área de estudo. Os autores qualificaram este como um solo com alta erodibilidade. Pode-se inferir a partir dessa afirmação que, com alta erodibilidade, o referido solo favorece o escoamento superficial, assim como o Organossolo, também identificado no trabalho, porém, em menor proporção na totalidade da região de estudo.

O Argissolo vermelho amarelo também foi identificado no trabalho de Santos e Lollo (2016), que estimaram o potencial de escoamento superficial da bacia hidrográfica do Córrego Caçula (BHCC), no município de Ilha Solteira, estado de São Paulo. Os autores utilizaram metodologias de cartografia e técnicas de tratamento digital de dados, com objetivo de subsidiar o planejamento urbano. Para a determinação do escoamento superficial foi utilizado o método SCS-CN, combinando informações de ocupação e tipos de solo presentes na bacia. Foram comparados cenários de 2001 e 2009, a fim de verificar a influência das mudanças de uso do solo no escoamento superficial.

Os tipos de solo presentes na BHCC, identificados por Santos e Lollo (2016) foram Latossolo vermelho amarelo e Argissolo vermelho amarelo, sendo inseridos

nos grupos hidrológicos C e B, respectivamente. O uso predominante na bacia, no ano de 2009, foi caracterizado como agricultura, tanto no Latossolo, quanto no Argissolo. Assim, o CN foi identificado, e pôde-se observar sua variação em função do tipo de solo, sendo encontrados valores menores de CN (entre 67 e 83), na porção do grupo hidrológico B, e maiores (até 100), no grupo hidrológico C. Com essa observação, verifica-se que o escoamento superficial é maior no Latossolo do que no Argissolo, em função de suas características hidrológicas.

Na parte inferior da BHAF foram identificados os Gleissolos, periódica ou permanentemente saturado, com dissolução de ferro (STRECK et al., 2008). A água permanece estacionária internamente, ou com saturação por fluxo lateral, atingindo a superfície do solo. Caracteriza-se pela forte gleização, saturação por água e, conseqüentemente, livre de oxigênio dissolvido. São solos mal ou muito mal drenados em condições naturais, com horizonte superficial escuro, e teores de médio a alto de carbono orgânico. Podem ter textura arenosa somente nos horizontes superficiais, mas seguidos de horizonte glei de textura franco arenosa ou mais fina. São solos formados a partir de sedimentos, estratificados ou não, e sujeitos a constante ou periódico excesso de água (EMBRAPA, 2013).

Comumente, desenvolvem-se em sedimentos recentes em proximidades de cursos d'água, podendo formar-se também em áreas de relevo plano de terraços fluviais, lacustres ou marinhos, como também em áreas abaciadas e depressões. São solos que ocorrem sob vegetação hidrófila ou higrófila herbácea, arbustiva ou arbórea (EMBRAPA, 2013). De acordo com Streck et al. (2008), os Gleissolos ocorrem tipicamente em regiões mal drenadas em todo o Estado, e geralmente estão associados aos Planossolos, corroborando com as associações verificadas na Tabela 2 e Figura 3.

Nas áreas maiores de várzeas, como na região de estudo onde encontra-se esse tipo de solo, quando drenado, é propício ao cultivo de culturas anuais como milho, soja, feijão e pastagens (STRECK et al., 2008).

Finalmente, o Planossolo háplico, identificado em metade da área de estudo, na parte central da bacia, compreende solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, geralmente com alta concentração de argila e permeabilidade lenta. Os solos desta classe ocorrem geralmente em áreas de relevo plano ou suave ondulado, onde as condições ambientais e do próprio solo favorecem periodicidade anual de

excesso de água, mesmo que de curta duração, especialmente em regiões sujeitas à estiagem prolongada. Nas baixadas, várzeas e depressões sob condições de clima úmido, estes solos são hidromórficos (EMBRAPA, 2013).

A associação Gleissolo e Planossolo, no caso específico deste estudo, está relacionada à baixa permeabilidade do solo e alto potencial de escoamento superficial, devido às características hidrológicas desses solos, enquadrados no grupo hidrológico D, de acordo com Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005a). São os solos de maior representatividade na sub-bacia em relação à área ocupada, e também às diversas coberturas existentes, ressaltando-se áreas alagadas e áreas urbanizadas, além de pastagem.

4.2 Grupos Hidrológicos

As classificações Gleissolos, Planossolos e Organossolos encontradas na região do presente estudo pertencem à classe hidrológica D, correspondendo ao maior percentual de área da localidade, 85% aproximadamente, enquanto as classificações Neossolos e Argissolos, à classe C, com 15% (Tabela 4 e Figura 4).

Tabela 4. Correspondência entre classes e grupos hidrológicos de solos.

Classes de solos (EMBRAPA, 2013)	Grupos Hidrológicos (SARTORI, LOMBARDI NETO e GENOVEZ, 2005a)
Planossolo	D
Gleissolo	
Organossolo	
Argissolo	C
Neossolo	

Os grupos hidrológicos identificados, de acordo com as características dos solos encontrados (EMBRAPA, 2013), conforme Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005a) foram C e D, ambos com características de pouca infiltração e alto potencial de escoamento superficial.

Entretanto, o Argissolo vermelho amarelo, identificado na porção superior da localidade, possui características de boa drenagem, relacionado com o grupo de solo hidrológico C, com infiltração de água razoável, em comparação ao grupo hidrológico D, identificado na maior área da sub-bacia Fragata.

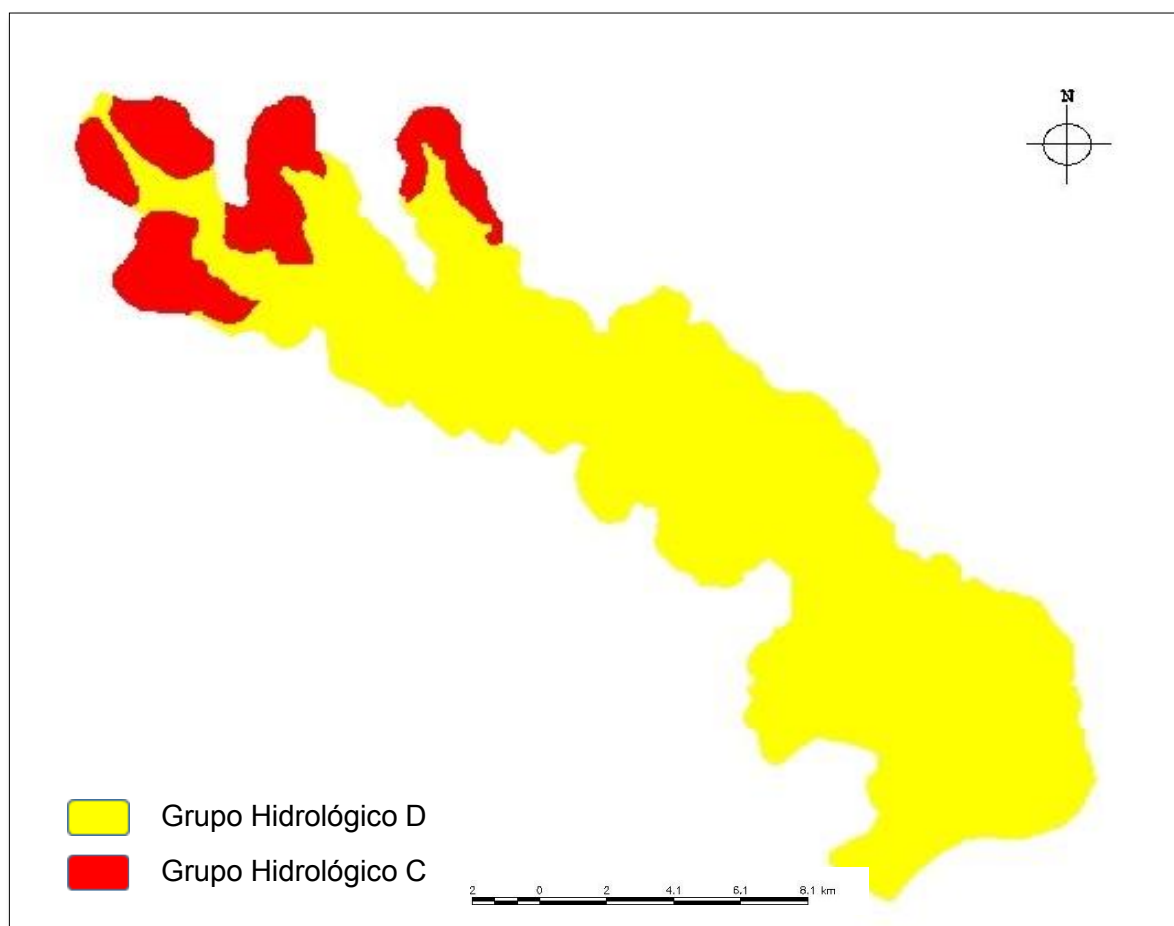


Figura 4 – Mapa da identificação dos grupos hidrológicos da sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.

Soares et al. (2017) objetivaram verificar a eficiência, com dados hidrológicos de vazão, do parâmetro CN através da retenção de águas pluviais, na bacia hidrográfica do Ivaí, no estado do Paraná. Para identificação das classes e respectivos grupos hidrológicos dos solos da localidade, os autores se utilizaram das informações do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da EMBRAPA, do ano de 2008, identificando, especialmente, o grupo hidrológico de solo D, em 28% da área total, sendo constituído por Neossolos, Gleissolos e Organossolos (SOARES et al., 2017).

Esse resultado de Soares et al. (2017) diverge com o encontrado no presente estudo, em relação à classificação dos Neossolos no Grupo D. Os demais identificados, Gleissolos e Organossolos, ambos os trabalhos consentem. Este fato pode estar relacionado a uma informação equivocada da classificação de solos utilizada por Soares et al. (2017), visto existir uma classificação atualizada nesta versão, ou ainda em função de alguma característica específica para o solo encontrado na região de estudo dos autores.

Silva et al. (2018) objetivaram interpretar as unidades de mapeamento de solos do estado de Minas Gerais, sob a ótica dos grupos hidrológicos, conforme método do Número de Curva (SCS-CN). Para isso, identificaram as classes de solo e descobriram que aproximadamente 70% da área do estado é composta pelas classes Latossolo e Cambissolo. À essas classes, foram incorporados elementos pedológicos e comportamentos hidrológicos, com base em referências do trabalho de Sartori, Genovez e Lombardi Neto (2005b).

As classes de solo foram redefinidas aos correspondentes grupos hidrológicos, sendo essa nova classificação avaliada, considerando dados existentes de precipitação, relevo e solo de três regiões hidrográficas de Minas Gerais. De acordo com os resultados, a maior parte do estado de Minas Gerais se enquadra nos grupos hidrológicos A e B, indicando que os solos nestas áreas apresentam baixo escoamento superficial e alta taxa de infiltração de água no solo, contrário ao encontrado neste trabalho, para a BHAF, cujos grupos hidrológicos identificados foram C e D, apresentando alto escoamento superficial e baixa taxa de infiltração.

Silva et al. (2018) inferiram sobre algumas características do grupo hidrológico D, identificado em menor proporção de área no estado de Minas Gerais, como relevos suaves e presença de solos pouco desenvolvidos, rasos e orgânicos, restringindo a infiltração de água no solo, presença de relevo montanhoso e afloramentos rochosos. Tais características foram identificadas nos solos da sub-bacia Fragata, o que corrobora com os grupos hidrológicos identificados, C e D.

4.3 Coberturas dos Solos

As coberturas dos solos da sub-bacia Fragata estão ilustradas na Figura 5 e na Tabela 5, onde é apresentada a área total de cada tipo de cobertura.

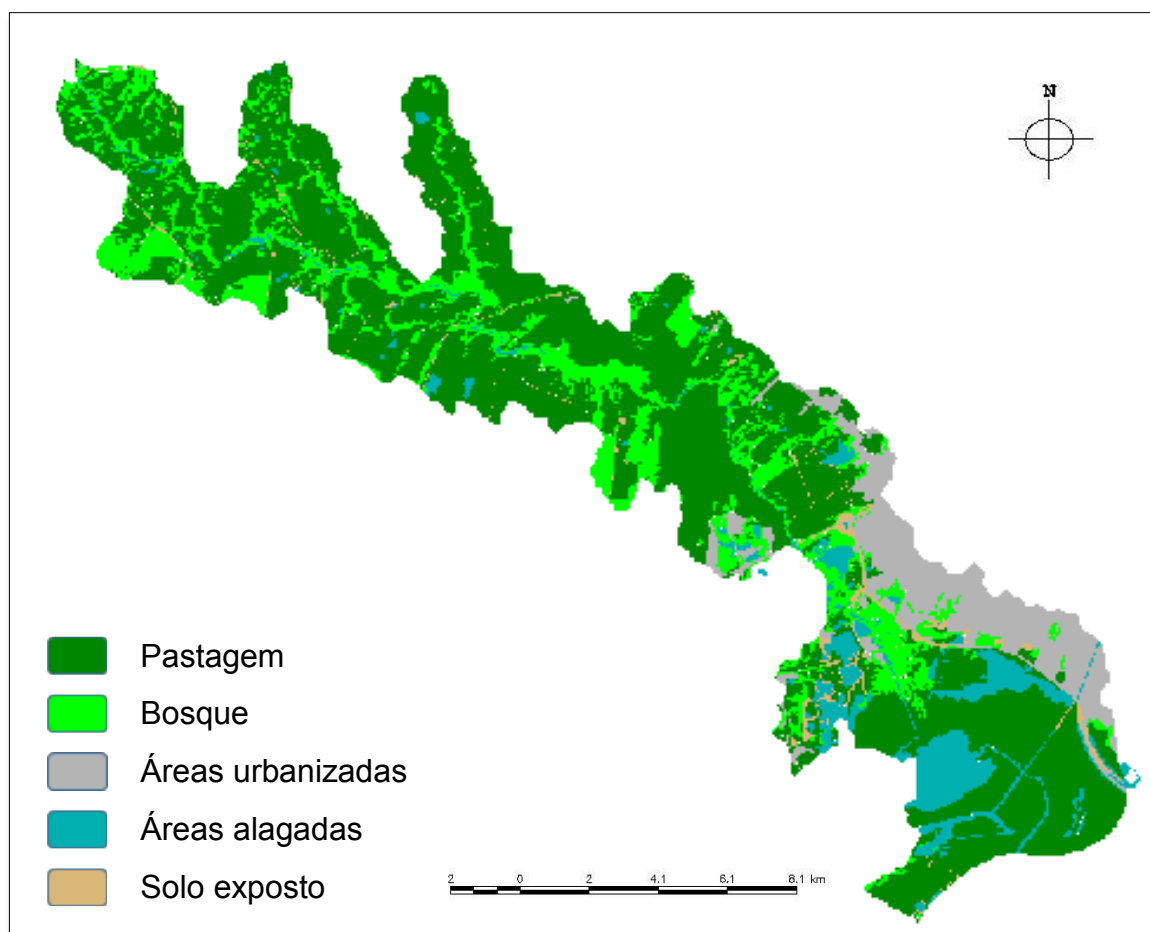


Figura 5 – Mapa da identificação dos tipos de coberturas dos solos da sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.

Tabela 5. Relação entre tipo de cobertura e área na sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.

Cobertura	Área ocupada (km²)	Área ocupada (%)
Pastagem	45,14	61,83
Bosque	13,60	18,64
Áreas urbanizadas	7,21	9,88
Áreas alagadas	5,69	7,79
Solo exposto	1,36	1,86

Na Tabela 5 observa-se o percentual de ocupação de cada tipo de cobertura do solo da sub-bacia Fragata, que, por ter grande parte de sua totalidade com

ocupação de pastagem e bosque (plantação de arbóreas), a referida bacia pode ser considerada como uma bacia rural.

Na parte superior da bacia, próximo ao município de Morro Redondo, há predominância de afloramentos rochosos e solos rasos de uso restrito ou sem aproveitamento agrícola, de acordo com Cunha e Silveira (1996ab), características dos Argissolos e Neossolos, encontrados na região. O relevo é de ondulado a forte ondulado, apresentando tendência à erosão laminar. As coxilhas, também características do local, junto aos Argissolos, possuem relevo ondulado e vegetação de gramíneas, em solo profundo, bem drenado e de média fertilidade.

As zonas de lombadas e planícies, no centro da sub-bacia, possuem solos hidromórficos com horizontes impermeáveis, apresentando restrições à drenabilidade do solo. Nessa região, os Planossolos e Organossolos são os representantes, constituindo a maior parte da sub-bacia (CUNHA e SILVEIRA, 1996ab). O restante da planície, localizada na parte inferior da região, é ocupada por solos inundáveis, os Gleissolos, com vegetação de gramíneas e aquáticas, e, conforme os autores, com aproveitamento de pastagem nativa.

As Figuras 6 e 7 caracterizam esta região, evidenciando solos inundáveis e pastagem.



Figuras 6 e 7. Fotos características da região sul da sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.

As áreas úmidas (alagadas) estão entre os ecossistemas mais produtivos do mundo, apresentando altos níveis de diversidade biológica e de produtividade primária e secundária, de acordo com Simioni e Guasselli (2017). No sul do Brasil,

Argentina e Uruguai, o termo Banhado tem sido empregado para caracterizar um tipo de área úmida, sendo inclusive considerado Área de Preservação Permanente, segundo os autores. Os banhados tendem a se localizarem próximos aos rios, em áreas onde extravasam as águas durante enchentes, sendo ricos em vegetação flutuante e submersa. Nas partes mais firmes, encontram-se espécies típicas de solos encharcados. Frente às atividades antrópicas, estas áreas se mostram ecologicamente importantes e ambientalmente sensíveis, necessitando de estudo e preservação (SIMIONI e GUASSELLI, 2017).

A criação de gado leiteiro, considerada atividade típica da região de estudo, segundo Broetto et al. (2017) pode degradar o binômio solo-água, onde o número alto de animais em pequenas áreas de pastagens, especialmente quando úmidas, pode levar à compactação do solo. Os solos compactados diminuem as taxas de infiltração de água e favorecem o aumento do escoamento superficial, transportando sedimentos, matéria orgânica e nutrientes, que podem causar sedimentação e contaminação dos corpos hídricos.

Para a BHAF, as áreas cobertas com bosque (floresta) e pastagem, apresentam valores de CN diferentes, comparando-se ao mesmo tipo de grupo hidrológico de solo, sendo para pastagem valores superiores, comparativamente ao do bosque, o que justifica a menor taxa de infiltração nas áreas de pastoreio, e consequente maior escoamento superficial.

As diversidades de CN e consequente escoamento superficial são provenientes dos tipos de solo da região associados à ocupação dos mesmos. Santos e Lollo (2016), que reconheceram Latossolos e Argissolos na bacia hidrográfica do Córrego Caçula/SP, em relação à cobertura, encontraram valores elevados de CN na área urbana da bacia, onde o solo predominante é o Latossolo, constituindo-se os valores com maior escoamento superficial. A área urbanizada deste trabalho, embora não predominante, contribuiu para o valor encontrado de CN, para a totalidade da BHAF, visto o elevado valor do parâmetro (98), para as áreas urbanizadas (USDA-NRCS, 2004).

4.4 Parâmetro Curva Número (CN)

A Tabela 6 apresenta os valores de CN para cada tipo de cobertura identificada na região e para cada grupo hidrológico de solo, conforme Tabela USDA-NRCS (2004) (Anexo A).

Tabela 6. Valores do parâmetro Curva Número (CN) para as convergências solos hidrológicos e coberturas da sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.

Grupo Hidrológico		
	C	D
Cobertura		
Áreas alagadas	98	98
Áreas urbanizadas	98	98
Pastagem	74	80
Bosque	70	77
Solo exposto	87	89

O valor convencionado pelo USDA-NRCS (2004) de 98 para as coberturas “áreas alagadas” e “áreas urbanizadas” foi utilizado. O valor de CN próximo a 100 sugere áreas impermeáveis, onde se observa um maior escoamento superficial.

As coberturas “pastagem” e “bosque” são predominantes na região, com plantio convencional para silagem, e plantação de arbóreas, principalmente eucalipto e acácia. A condição de ambas as classificações foi considerada boa, sendo a pastagem com mais de 75% da superfície coberta ou pastoreada, e bosque protegido por pastoreio, com arbustos cobrindo adequadamente o solo, conforme orientação do USDA-NRCS (2004).

A identificação de “solo exposto” é composta principalmente por estradas de terra, e por algumas áreas isoladas sem outra atividade.

A Figura 8 mostra a matriz numérica do mapa da sub-bacia Fragata, em relação ao valor CN para cada pixel, a partir do estabelecimento da condição de união entre solo hidrológico e tipo de cobertura.

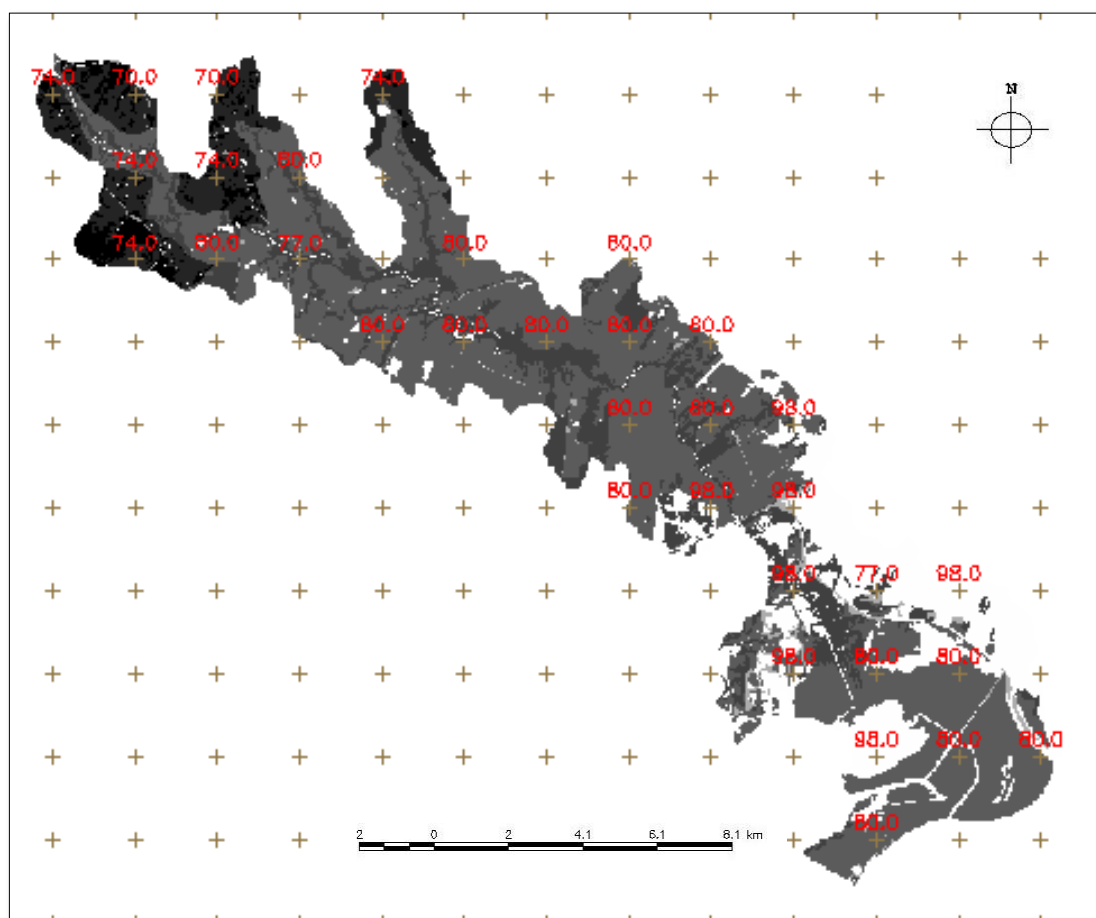


Figura 8. Mapa da matriz numérica dos valores do parâmetro Curva Número (CN) identificados para cada pixel da sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.

A Figura 8 mostra os diversos valores de CN com variabilidade para toda a região, visto as combinações entre dois grupos hidrológicos de solo (C e D) e cinco tipos de coberturas diferentes para esses solos (áreas alagadas, áreas urbanizadas, pastagem, bosque e solo exposto). A variação de cores do preto ao branco auxilia a destacar os locais onde o parâmetro CN possui valores mais elevados, sendo as regiões mais escuras, com valores de CN mais baixos.

Na região superior da bacia observa-se com nitidez a coloração mais clara; essa caracterização é devida ao tipo de solo presente naquela região, o Argissolo, enquadrado no grupo hidrológico C, com moderada taxa de infiltração e escoamento superficial, comparado ao grupo hidrológico D, presente no restante da sub-bacia.

Na Figura 9 os diversos valores de CN ficam mais visíveis, estando os mesmos divididos por cores.

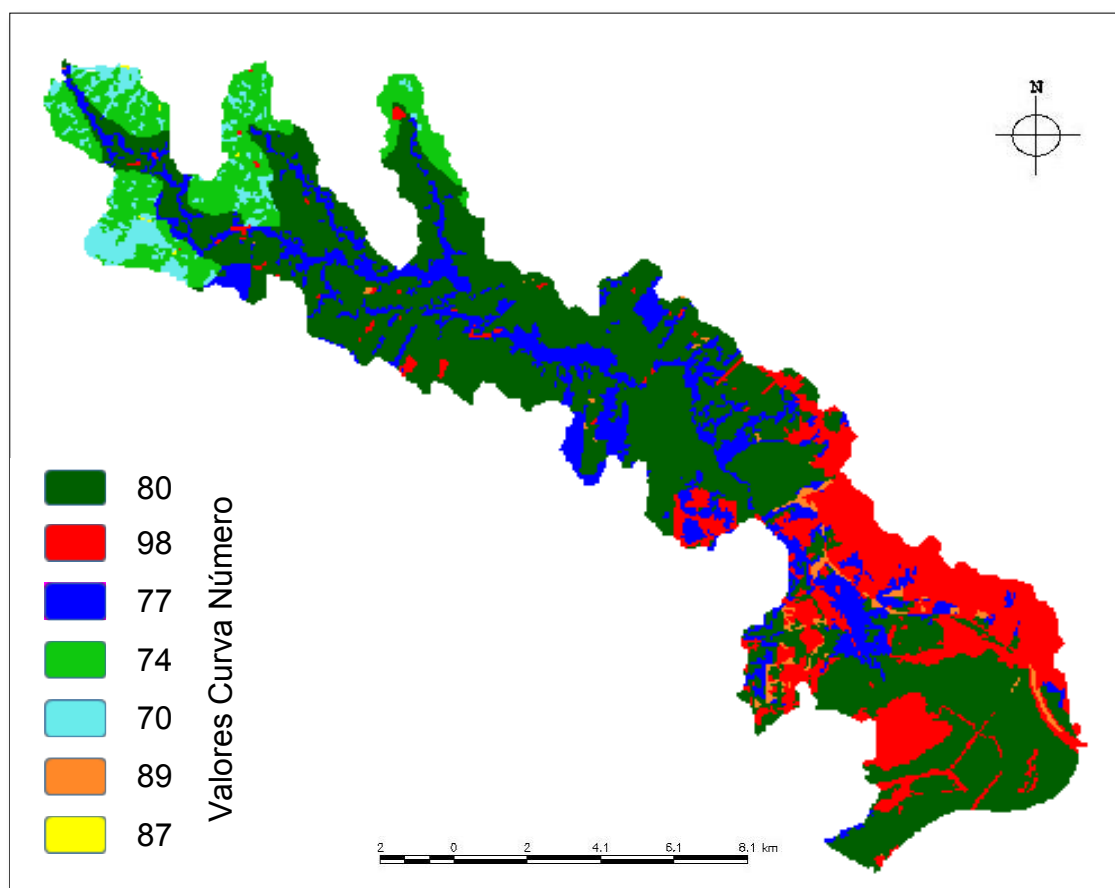


Figura 9. Mapa de interseção grupo hidrológico/cobertura e valor do parâmetro Curva Número (CN) para a sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.

O valor CN da sub-bacia Fragata foi calculado considerando os valores do referido parâmetro para cada região de interseção grupo hidrológico/cobertura, em associação com a área de abrangência. Então, através da média ponderada do CN (Equação 1) obteve-se o valor Curva Número da BHAF, conforme Tabela 7.

Tabela 7. Relação entre as interseções solo hidrológico/cobertura e valores do parâmetro Curva Número (CN) para a sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.

Parâmetro CN	Área integrada (%)
80	53,63
98	17,44
77	15,23
74	9,26
70	3,21
89	1,19
87	0,04
TOTAL CN = 82	

Minosso, Antoneli e Freitas (2017) relacionaram a infiltração de água no solo em diferentes tipos de uso na região sudeste do Paraná. Os autores concluíram que cada uso apresentou uma dinâmica de infiltração diferente, apesar de todas fazerem parte de uma única unidade territorial e com geomorfologia semelhante, sendo que a área florestada apresentou taxas de infiltração superiores aos outros usos, entre 1,95 e 2,9 mm h⁻¹ e, em contrapartida, na área de pastagem, pelo constante pisoteio de animais e consequente compactação do solo, as taxas de infiltração registradas foram entre 0,35 e 0,5 mm h⁻¹. Pode-se relacionar esses valores de infiltração, além das características dos usos e coberturas do solo, ao parâmetro CN.

Chadli et al. (2016) avaliaram o escoamento superficial da bacia hidrográfica Cebu, em Marrocos, norte da África, através do método SCS-CN, integrado com sistema de informação geográfica. Os autores utilizaram um banco de dados de solos disponibilizado pela FAO, e classificaram os solos existentes na região em grupos hidrológicos C e D, sendo a classe D predominante, com 86,64% da área total. A principal cobertura do solo foi identificada como agricultura. Os autores utilizaram a tabela da TR-55 (1986), atualizada como Tabela USDA-NRCS (2004), sendo o valor de CN encontrado 85.

O estudo de Chadli et al. (2016) obteve resultados similares aos da presente pesquisa para a BHAF. Os autores identificaram na bacia hidrográfica Cebu os mesmos grupos hidrológicos, C e D, com proporções de área semelhantes, e predomínio do grupo D, caracterizado pela forte predisposição ao escoamento superficial, resultando no valor de 85, muito próximo ao encontrado neste estudo, CN 82.

O estudo de Rodrigues et al. (2015b) objetivou quantificar o escoamento superficial em diferentes coberturas do solo, e analisar a interferência da vegetação na interceptação da água e controle da erosão. O trabalho foi realizado na micro bacia hidrográfica do rio Paraíso, no município de São Manuel, estado de São Paulo. O experimento foi em parcelas de solo, com cobertura vegetal, gramíneas, sem cobertura vegetal e solo impermeabilizado. Foram realizadas simulações de chuvas com 4, 6 e 10 min de duração. A cada evento chuvoso, as precipitações, intensidades, interceptações e precipitações efetivas foram quantificadas, e os volumes de escoamento superficial captados e quantificados. Os resultados mostraram coeficiente de escoamento superficial baixo, nos três tempos de chuva,

para a vegetação florestal (0,0; 1,3; 1,8%); no ambiente com gramínea, o coeficiente aumentou com o tempo (4,8; 16,6; 18,7%). Nos ambientes descoberto e impermeabilizado, os coeficientes de escoamento superficial foram elevados já no primeiro tempo de chuva (acima de 40%), aumentando com o tempo de precipitação. Os autores relataram que nas duas últimas situações, o risco de erosão, alagamentos e assoreamentos são iminentes ao longo do tempo.

Comparando o trabalho de Rodrigues et al. (2015b) com o presente estudo, nota-se que grande parte da sub-bacia se encontra em condições semelhantes às primeiras situações, com presença de bosque (plantação de arbóreas) e pastagem, que não difere muito, quando comparado a gramíneas, em relação ao valor CN, e consequente escoamento superficial, e em tipos de solo semelhantes.

Em relação ao solo exposto, o trabalho de Rodrigues et al. (2015b) não menciona propriedades deste solo, porém, pelos resultados obtidos, pode-se inferir que se trata de um solo característico dos grupos hidrológicos C ou D, com baixo potencial de infiltração, como identificado na BHAF.

4.5 Precipitação Total e Efetiva

Com o valor determinado de CN 82 para a sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata, foi realizada uma aplicação desse parâmetro, com obtenção dos hietogramas de projeto e efetivo para os períodos de retorno de 10, 50 e 100 anos (Figuras 10, 11 e 12).

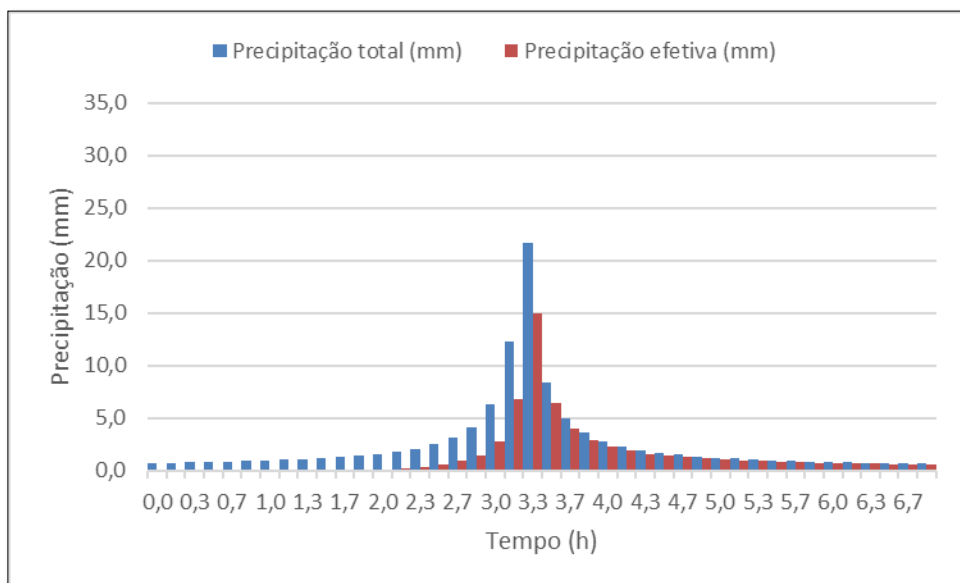


Figura 10. Hietograma de projeto e efetivo para um período de retorno de 10 anos, considerando CN 82, para a sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.

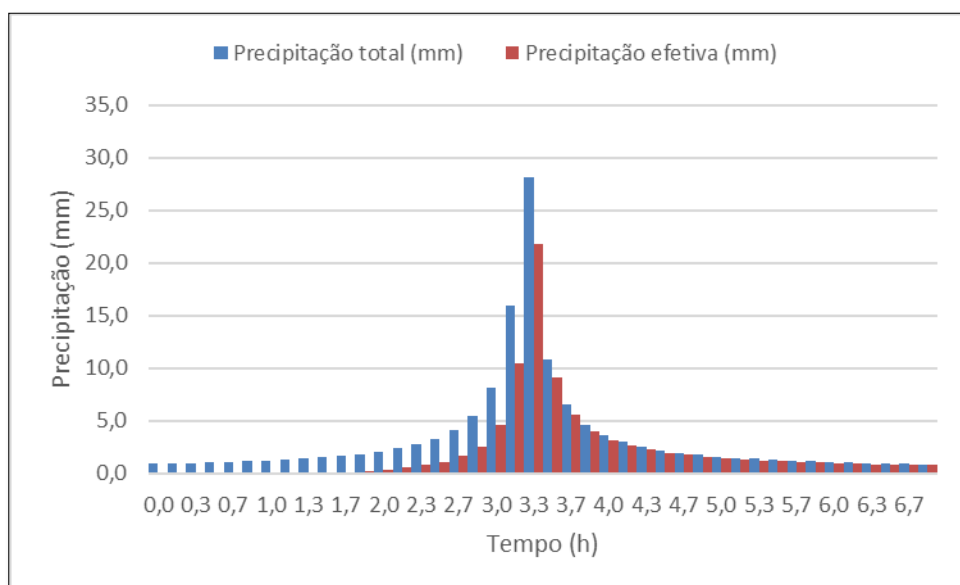


Figura 11. Hietograma de projeto e efetivo para um período de retorno de 50 anos, considerando CN 82, para a sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.

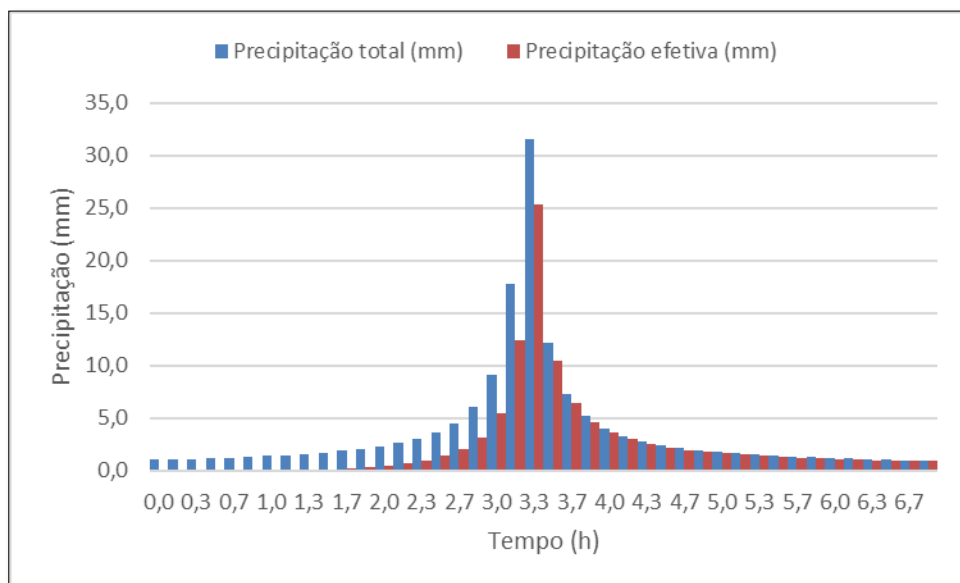


Figura 12. Hietograma de projeto e efetivo para um período de retorno de 100 anos, considerando CN 82, para a sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.

A partir dos valores das precipitações total e efetiva em função do tempo, observa-se que os totais escoados aumentam em função do período de retorno. Os percentuais de lâmina escoada em relação ao total precipitado $[(Pe/P) \times 100]$ foram de 56, 64 e 67%, para os períodos de retorno 10, 50 e 100 anos, respectivamente. Este resultado mostra-se coerente com a estrutura da equação que representa a curva IDF (Equação 2), visto que as intensidades máximas médias de precipitação, para a mesma duração, são diretamente proporcionais ao acréscimo no período de retorno. Esses percentuais estão relacionados ao valor CN, ou seja, quanto mais elevado for este parâmetro, maior tendência a um escoamento superficial elevado.

Baseado nesse princípio, Naresi Júnior et al. (2017) estimaram os valores de escoamento superficial, classe de uso e taxa de ocupação do solo fundamentado no aumento projetado para a classe reflorestamento em um cenário futuro, na bacia hidrográfica do Pouso Frio, no município de Taubaté/SP, valendo-se do método SCS-CN. Com incremento de aproximadamente 12% na classe reflorestamento, com plantio de eucalipto, os autores encontraram valores menores de CN para a localidade, passando de 71 (cenário atual) para 61 (cenário futuro, com incremento da classe reflorestamento). Esse valor de CN remeteu a um maior índice de infiltração, e consequente decréscimo dos valores de escoamento superficial, para os períodos de retorno de 10, 50 e 100 anos, passando de coeficientes 31,7; 40,2 e 43,2% para 21,4; 34,3 e 39,9%, respectivamente.

Em comparação a BHAF, os coeficientes de escoamento encontrados no trabalho de Naresi Júnior et al. (2017), para ambos os cenários, os valores foram inferiores aos encontrados. Pode-se inferir a respeito dos tipos de solo identificados nos estudos, sendo do grupo hidrológico C, no trabalho de Naresi Júnior et al. (2017) e grupo hidrológico D, no presente estudo. Além disso, a cobertura predominante do solo na BHAF é pastagem, que, em conjunto com o grupo D, resulta em valores elevados de CN.

A relação entre a precipitação efetiva e a lâmina total precipitada $[Pe(mm)/P(mm)]$, sendo as precipitações efetiva e total estimadas a partir do CN 82, resultou em um coeficiente de escoamento de valor 0,56, para o período de retorno de 10 anos. Comparando ao Método Racional, esse coeficiente estaria entre 0,45 e 0,60, utilizado como valor padrão para bacias rurais e urbanas, respectivamente (DAMÉ et al., 2010).

No entanto, ressalta-se que o Método SCS–CN, por considerar características específicas da bacia hidrográfica, os hietogramas e hidrogramas obtidos retratam com maior proximidade a realidade local.

Observou-se que a sub-bacia Fragata, pela verificação do método, em comparação ao Método Racional, comporta-se como uma bacia urbana, com coeficiente de escoamento de aproximadamente 0,60.

4.6 Hidrograma de Escoamento Superficial

Os hidrogramas de escoamento superficial para os períodos de retorno de 10, 50 e 100 anos, considerando o valor de CN igual a 82, estão representados nas Figuras 13, 14 e 15, respectivamente, sendo os eixos das ordenadas, as vazões obtidas em cada intervalo de tempo, perpassando ascensão, pico e recessão.

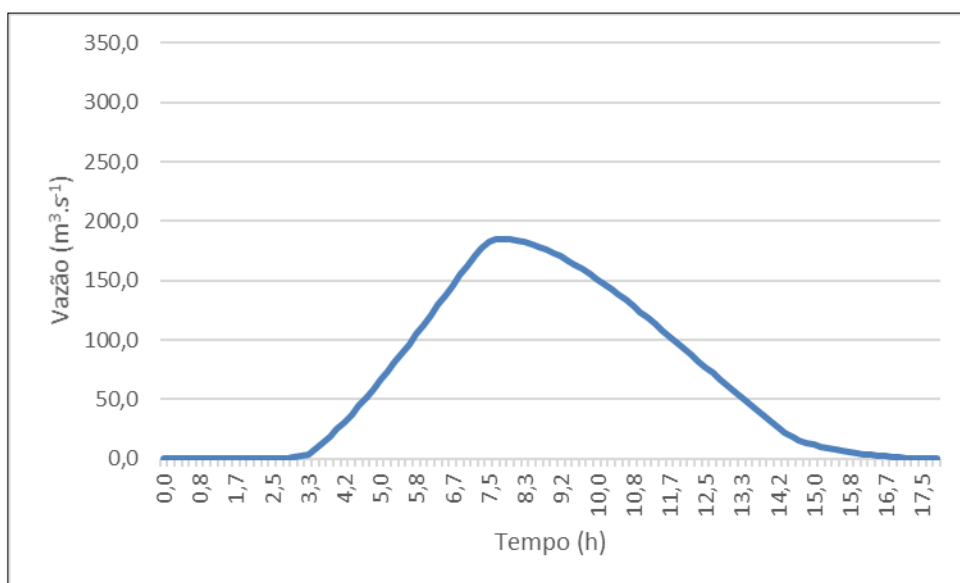


Figura 13. Hidrograma de escoamento superficial para um período de retorno de 10 anos, considerando CN 82, para a sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.

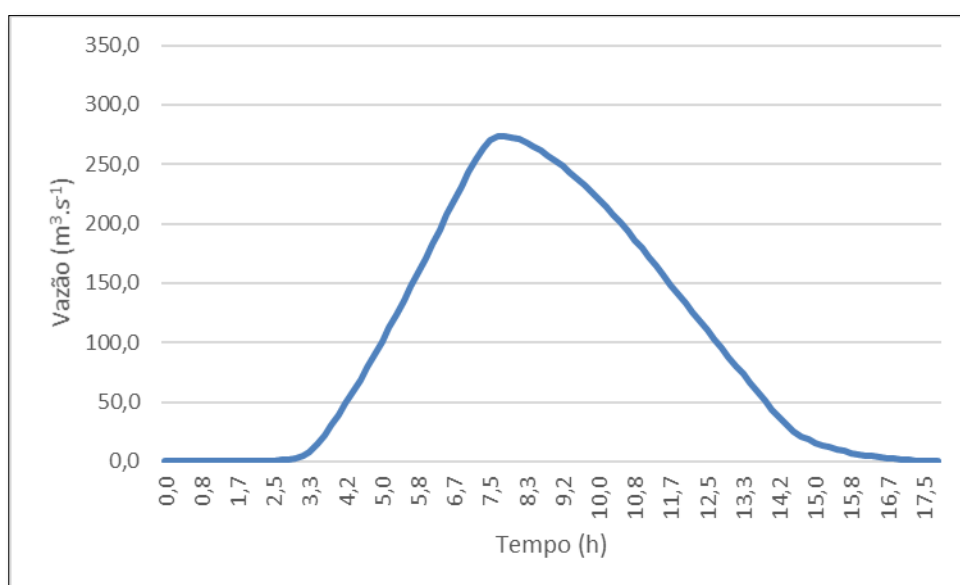


Figura 14. Hidrograma de escoamento superficial para um período de retorno de 50 anos, considerando CN 82, para a sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.

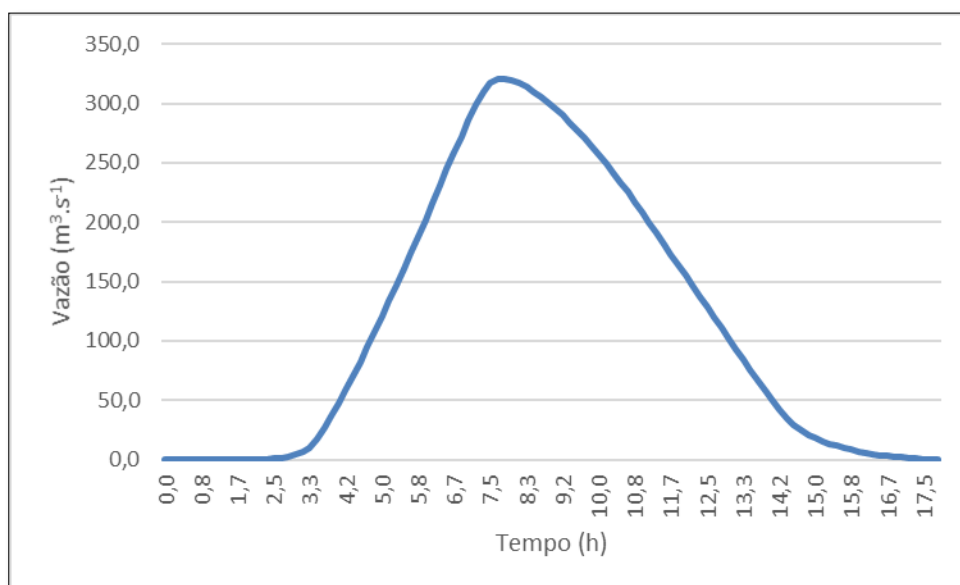


Figura 15. Hidrograma de escoamento superficial para um período de retorno de 100 anos, considerando CN 82, para a sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata.

Observando-se as figuras 10, 11 e 12 e relacionando-as com as figuras 13, 14 e 15, nesta ordem, percebe-se haver coerência entre os valores dos hietogramas efetivos e hidrogramas de projeto resultantes, para os períodos de retorno estudados.

Santos et al. (2017) determinaram hidrogramas de precipitações efetivas máximas para a bacia do rio da Rocinha, no município de Taubaté, estado de São Paulo. Foram estudados cenários de variações de ações antrópicas entre os anos de 2003 e 2016, com ênfase em projeção futura para 2030, em diversos períodos de retorno. Os autores utilizaram imagens de satélite para caracterizar o local de estudo, e obter as variáveis necessárias para a construção dos hidrogramas. Em projeções futuras, os autores, com base em indicadores socioeconômicos, estimaram um acréscimo dos setores de reflorestamento e mineração, sendo em torno de 244%, o crescimento da cultura de eucalipto na região, a partir de 2003. Em contrapartida, a agricultura sofrerá um decréscimo de 19% no mesmo período. O parâmetro CN, nesse cenário, tenderá a uma redução até 2030, em função do aumento do reflorestamento e da recuperação de matas na região (SANTOS et al., 2017). Nessa projeção, os valores de vazão máximos foram estimados em 128,16 m³ s⁻¹, 242,87 m³ s⁻¹ e 297,80 m³ s⁻¹, para os períodos de retorno de 10, 50 e 100 anos, respectivamente.

No presente estudo, os valores de vazões máximas encontrados foram 185,3 m³ s⁻¹, 273,3 m³ s⁻¹ e 320,3 m³ s⁻¹, para períodos de retorno de 10, 50 e 100 anos, respectivamente. Comparando com os valores obtidos por Santos et al. (2017), os valores encontrados foram maiores do que a projeção, em que o CN é reduzido com as mudanças de ocupação do solo.

Resultados dessa natureza confirmam a dependência do hidrograma de projeto em relação às características da bacia hidrográfica e também da precipitação.

5 Considerações Finais

Com a associação das características gerais e principalmente hidrológicas dos solos do Rio Grande do Sul, as referências originais dos valores CN e a utilização de geotecnologias, foi possível identificar o parâmetro Curva Número do *Soil Conservation Service* para a sub-bacia Fragata, da bacia hidrográfica do arroio Moreira, localizada no sul do Rio Grande do Sul.

A classe de solo Planossolo, caracterizado como grupo hidrológico D, e a cobertura com pastagem, ambos predominantes na localidade, foram as particularidades que mais influenciaram no valor CN (82) e, conjuntamente com as características morfológicas da região, pôde-se estabelecer o hidrograma de escoamento superficial local.

A metodologia utilizada mostrou-se adequada e pode ser utilizada para subsidiar questões referentes a planejamentos de recursos hídricos, servindo como apoio à gestão. Além disso, visto a carência de informações de dados hidrológicos na região, os resultados deste trabalho podem contribuir para a geração de uma base de dados coerente, atual e de acordo com a realidade regional, visando prover informações que resultem na mitigação de danos provocados por meios naturais ou antrópicos em bacias hidrográficas.

Referências

AJMAL, Muhammad; MOON, Geon-woo; AHN, Jae-hyun; KIM, Tae-woong. Investigation of SCS–CN and its inspired modified models for runoff: Estimation in South Korean watersheds. **Journal of Hydro-environment Research**. v. 9, p. 592 – 603, 2015.

ALVES, Marcelo Rodrigo; DEMATTÊ, José A. M.; BARROS, Pedro Paulo Silva. Multiple geotechnological tools applied to digital mapping of tropical soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 39, n. 5, p. 1261 – 1274, 2015.

ARAÚJO, Efraim Martins; MAMEDE, George Leite. Investigação do processo de geração de escoamento usando análise estatística multivariada em uma bacia semiárida. **Irriga**. v. 23, n. 1, p. 72 – 86, 2018.

ARAÚJO NETO, José Ribeiro de; ANDRADE, Eunice Maia de; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; SANTOS, Júlio César Neves dos; LOBATO, Francisco Antônio de Oliveira. Análise comparativa do escoamento superficial de microbacias experimentais em clima semiárido tropical. **Water Resources and Irrigation Management**. v. 2, n. 3, p. 111 – 120, 2013.

ARAÚJO NETO, José Ribeiro de; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; ANDRADE, Eunice Maia de; SANTOS, Júlio César Neves dos; PINHEIRO, Everton Alves Rodriguez. Otimização do número de curva (CN–SCS) para diferentes manejos na região semiárida, Ceará, Brasil. **Irriga**, Botucatu, Edição especial, p. 264 – 279, 2012.

ASSIS, Paula Camylla Ramos; STONE, Luís Fernando; SILVEIRA, André Luís Rodrigues da; OLIVEIRA, Janaína de Moura; WRUCK, Flávio Jesus; MADARI, Beáta Emöke. Biological soil properties in integrated crop-livestock-forest systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 41, e. 0160209, 2017.

BARROS, Altair Maciel de; NEVES, Marllus Gustavo Ferreira Passos das; HENRIQUE, Diogo Carlos. Variabilidade e causas na geração de vazão em bacias urbanas: estudo de caso do Riacho do Sapo, Maceió-AL. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**. v. 4, n. 2, p. 220 – 231, 2016.

BARROS, Claudia Alessandra Peixoto de; MINELLA, Jan Paolo Gomes; TASSI, Rutinéia; DALBIANCO, Leandro; OTTONELLI, Anaí Sangiovo. Estimativa da infiltração de água no solo na escala de bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 38, n. 2, p. 557 – 564, 2014.

BARTLETT, M. S.; PAROLARI, A. J.; McDONNELL, J. J.; PORPORATO, A. Beyond the SCS–CN method: A theoretical framework for spatially lumped rainfall – runoff response. **Water Resources Research**. v. 52, n. 6, p. 4608 – 4627, 2016.

BATISTA, José Anderson do Nascimento; BOLDRIN, Andressa Juliana. Avaliação do desempenho hidráulico de um sistema de drenagem de águas pluviais urbanas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 23, n. 2, p. 263 – 273, 2018.

BEMFICA, Daniela da Costa; GOLDENFUM, Joel A.; SILVEIRA, André L. L. da. Análise da aplicabilidade de padrões de chuva de projeto de Porto Alegre. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 5, n. 4, p. 5 - 16, 2000.

BERNARDI, Ewerthon Cezar S.; RIGHES, Afranio Almir; BURIOL, Galileo Adeli. Impacto do uso e cobertura do solo do deflúvio do Rio Conceição. **Disciplinarum Scientia**. Série: Naturais e Tecnológicas, Santa Maria. v. 16, n. 3, p. 357 – 370, 2015.

BRASIL. **Conselho Nacional de Recursos Hídricos**. Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003. Anexo I. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2003.

BRASIL. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 1997.

BROETTO, Tiago; TORNQUIST, Carlos Gustavo; CAMPOS, Ben-Hur Costa de; SCHNEIDER, Júlio César. Relationships between agriculture, riparian vegetation, and surface water quality in watersheds. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 41, e. 0160286, 2017.

CABRAL, Samuellson Lopes; SAKURAG, Jójhy; SILVEIRA, Cleiton da Silva. Incertezas e erros na estimativa de vazões usando modelagem hidrológica e precipitação por RADAR. **Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. v. 12, n. 1, p. 57 – 70, 2017.

CADERNO da região hidrográfica Atlântico Sul. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006. 128p.

CALZAVARA, Silmara Forner; FERNANDEZ, Oscar Vicente Quinonez. Uso e ocupação do solo e número de curva (CN) na bacia hidrográfica do córrego Matilde Cuê, Marechal Cândido Rondon (PR). **Geoingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**. v. 7, n. 1, p. 185 - 209, 2015.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: INPE, São José dos Campos, 2001. 345p.

CARVALHO, Rodrigo Guimarães de. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**. Volume especial, n.36, p. 26 - 43, 2014.

CHADLI, Khalid; KIRAT, Mimoun; LAADOUA, Abdelhaq; EL HARCHAOUI, Noureddyne. Runoff modeling of Sebou watershed (Marocco) using SCS curve number method and geographic information system. **Model. Earth Syst. Environ.** v. 2, n. 158, p. 1 – 8, 2016.

CORNELLI, Renata; SCHNEIDER, Vania Elisabete; BORTOLIN, Taison Anderson; CEMIN, Gisele; SANTOS, Geise Macedo dos. Análise da influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água de duas sub-bacias hidrográficas do município de Caxias do Sul. **Scientia cum Industria**. v. 4, n. 1, p. 1 – 14, 2016.

CORREIA, Evaldo Flávio Gomes; RIBEIRO, Gilberto Pessanha; BAPTISTA, Alessandra Carreiro. Modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do Rio Bengalas, Nova Friburgo, RJ, utilizando o potencial de geotecnologias na definição de áreas de risco à inundação. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 6, n. 67, p. 1183 – 1202, 2015.

CUNHA, Noel Gomes; SILVEIRA, Ruy José da Costa; SEVERO, Carlos Roberto Soares. Estudo dos solos do município de Morro Redondo. **EMBRAPA-CPACT** (Documentos, 23/96). Pelotas: Ed. UFPel, 1996. 28p.

CUNHA, Noel Gomes; SILVEIRA, Ruy José da Costa. Estudo dos solos do município de Capão do Leão. **EMBRAPA-CPACT** (Documentos, 11/96). Pelotas: Ed. UFPel, 1996a. 54p.

CUNHA, Noel Gomes; SILVEIRA, Ruy José da Costa. Estudo dos solos do município de Pelotas. **EMBRAPA-CPACT** (Documentos, 12/96). Pelotas: Ed. UFPel, 1996b. 50p.

DAMÉ, Rita de C. F.; TEIXEIRA, Claudia F. A.; TERRA, Viviane S. S.; ROSSKOFF, José L. C. Hidrograma de projeto em função da metodologia utilizada na obtenção da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 14, n. 1, p. 46 - 54, 2010.

DAMÉ, Rita de C. F.; TEIXEIRA-GANDRA, Claudia F. A.; VILLELA, Francisco A.; SANTOS, Jacira P. dos; WINKLER, Antony S. Analysis of the relationship intensity, duration, frequency of disaggregated daily rainfall in Southern Rio Grande do Sul, Brazil. **Engenharia Agrícola**. v. 34, n. 4, p. 660 – 670, 2014.

DILE, Yihun Taddele; KARLBERG, Louise; SRINIVASAN, Raghavan; ROCKSTRÖM, Johan. Investigation of the Curve Number method for surface runoff estimation in tropical regions. **Journal of the American Water Resources Association**. v. 52, n. 5, p. 1011 – 1279, 2016.

DORNELES, Viviane Rodrigues. **Análise de Chuvas Intensas com Abordagem de Dados Pluviográficos e Pluviométricos**. 2017. 57 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Pelotas, RS, 2017.

DURÁN – BARROSO, Pablo; GONZÁLES, Javier; VALDÉS, Juan B. Improvement of the integration of Soil Moisture Accounting into the NRCS – CN model. **Journal of Hydrology**. v. 542, p. 809 – 819, 2016.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. 353p.

FAN, Fernando Mainardi; BUARQUE, Diego Costa; PONTES, Paulo Rógenes Monteiro; COLLISCHONN, Walter. Um mapa de unidades de resposta hidrológica para a América do Sul. In: XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2015. Brasília. **Anais...** Brasília, DF, 2015.

FAN, Fernando Mainardi; COLLISCHONN, Walter. Integração do modelo MGBIPH com sistema de informação geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 19, n. 1, p. 243 – 254, 2014.

FAO alerta que 33% dos solos estão degradados. **Jornal do Comércio**, 2º Caderno. Ano 85, n. 134, 6 de dezembro de 2017.

FREIRE, Ana Paula; CASTRO, Edwards Cerqueira de. Análise da correlação do uso e ocupação do solo e da qualidade da água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 19, n. 1, p. 41 – 49, 2014.

GAMIZ, M. C. Determinación de la tormenta de diseño. **Ingeniería Hidráulica y Ambiental**. v. 22, n. 2, p. 27 - 30, 2001.

GOOGLE. Google Earth Pro. Disponível em:
<https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>

HEBERLE, Melissa; SILVA, Berenice Maria Dalla Costa da; LIMA, Charlyan de Souza; QUINTAL, Renato Santiago; REMPEL, Claudete; DALZUCHIO, Marina Schmidt. Variações no microclima e características do solo em paisagens com diferentes coberturas vegetais: ação de campo junto ao Morro da Harmonia – Teutônia/RS. **Revista Destaques Acadêmicos**. v. 9, n. 3, p. 284 – 295, Lajeado, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING) versão 5.5.2. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003. [on line]
<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html>

JEJURKAR, Chandrakant L.; RAJURKAR, Milind P. Na investigational approach for the modelling of infiltration process in a clay soil. **KSCE Journal of Civil Engineering**. v. 19, n. 6, p. 1916 – 1921, 2015.

KEIFER, C. J.; CHU, H. H. Synthetic storm pattern for drainage design. **Journal of the Hydraulics Division**. v. 83, n. 4, p. 1 - 25, 1957.

LAL, Mohan; MISHRA, Surendra Kumar; PANDEY, Ashish. Physical verification of the effect of land features and antecedente moisture on runoff curve number. **Catena**. v. 133, p. 318 – 327, 2015.

LESSA, Luís Gustavo Frediani; ZIMBACK, Célia Regina Lopes; LIMA, Sérgio Lázaro d; MACHADO, Ronalton Evandro. Modelo hidrológico SWAT na determinação das perdas de solo na bacia hidrográfica do Rio Pardo – Botucatu/SP. **Revista Energia na Agricultura**. v. 28, n. 3, p. 170 – 178, 2013.

LOMBARDI NETO, F. BELLINAZZI JÚNIOR, R.; GALEATI, P. A.; BERTOLINI, D. LEPSCH, I. F.; OLIVEIRA, J. B. Nova abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços. In.: SIMPÓSIO SOBRE TERRACEAMENTO AGRÍCOLA. **Anais...** Campinas, 1989. Fundação Cargill. p. 99 – 124.

MARCELLINI, S. S. **Análise de critérios para a determinação das tormentas de projeto e sua influência nos hidrogramas em pequenas bacias hidrográficas**. 1994. 176p. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.

MESHRAM, S. Gajbhiye; SHARMA, S. K.; TIGNATH, S. Application os remote sensing and geographical information system for generation of runoff curve number. **Applied Water Science**. v. 7, n. 4, p. 1773 – 1779, 2017.

MINOSSO, Joslaine; ANTONELI, Valdemir; FREITAS, Andreza Rocha de. Variabilidade sazonal da infiltração de água no solo em diferentes tipos de uso na região sudeste do Paraná. **Geographia Meridionalis**. Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pelotas. v. 3, n. 1, p. 86 – 103, 2017.

MONTE, Benício Emanuel Omena; COSTA, Denis Duda; CHAVES, Mahelvson Bazilio; MAGALHÃES, Louis de Oliveira; UVO, Cintia B. Modelagem hidrológica e hidráulica aplicada ao mapeamento de áreas inundáveis. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 21, n. 1, p. 152 – 167, 2016.

MONTENEGRO, Abelardo A. A.; RIBEIRO, Mateus R.; MONTENEGRO, Suzana M. G. L.; CORRÊA, Marcus M.; SANTOS, Thais E. M. Potencialidades hídricas superficiais de Fernando de Noronha, PE, e alternativas para incremento da oferta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 13, p. 931 – 939, 2009.

MUSGRAVE, G.W. How much of the rain enters the soil? In: USDA. **Water: The Yearbook of Agriculture**. p. 151 – 159, 1955.

NARESI JÚNIOR, Romeu; PAIVA, Janilda; ACCIOLI, Liz; TARGA, Marcelo Santos. **Repositório de Ciências Ambientais**. v. 1, n. 1, p. 1 – 17, 2017.

NASCIMENTO, Thays Valente do; FERNANDES, Lindemberg Lima. Mapeamento de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. **Ciência e Natura**. v. 39, n. 1, p. 170 – 178, 2017.

OLIVEIRA, Juarez Ventura de; FERREIRA, Douglas Batista da Silva; SAHOO, Prafulla Kumar; SODRÉ, Giordani Rafael Conceição; SOUZA, Everaldo Barreiros de Souza; QUEIROZ, Joaquim Carlos Barbosa. Differences in precipitation and evapotranspiration between forested and deforested áreas in the Amazon rainforest using remote sensing data. **Environmental Earth Sciences**. v. 77, n. 239, p. 1 – 14, 2018.

PADRÓN, Richard Alberto Rodriguez; NOGUEIRA, Helena Maria Camilo de Moraes; CERQUERA, Roxanna Rosales; ALBINO, Gonçalves Daula; NOGUEIRA, Cicero Urbanetto. Caracterização físico-hídrica do solo argissolo amarelo para estabelecimento de projeto e manejo da irrigação. **Acta Iguazu**. v. 4, n. 1, p. 36 – 47. Cascavel, 2015.

PERAZZOLI, Maurício; PINHEIRO, Adilson; KAUFMANN, Vander. Efeitos de cenários de uso do solo sobre o regime hídrico e produção de sedimentos na bacia do Ribeirão Concórdia – SC. **Revista Árvore**. v. 37, n. 5, p. 859 – 869, 2013.

PEREIRA, Donizete dos R.; MARTINEZ, Mauro A.; PRUSKI, Fernando F.; SILVA, Demetrius D. da. Hydrological simulation in a basin of typical climate and soil using the SWAT model part I: Calibration and validation tests. **Journal of Hydrology: Regional Studies**. v. 7; p. 14 – 37, 2016.

PEREIRA, Luís Flávio; GUIMARÃES, Ricardo Morato Fiúza; OLIVEIRA, Raphael Rivadávia Mendes. Integrando geotecnologias simples e gratuitas para avaliar usos/coberturas da terra: QGIS e Google Earth Pro. **Journal of Environmental Analysis and Progress**. v. 3, n. 3, p. 250 – 264, 2018.

PILGRIM, D. H.; CORDERY, I. Rainfall temporal patterns for design floods. **Journal of the Hydraulics Division**. v. 101, n. 1, p. 81 - 95, 1975.

PINHEIRO, Antonio Gebson; SANTOS, Júlio Cesar Neves dos; PALÁCIO, Helba Araújo de Queiroz; ARAÚJO NETO, José Ricardo de; ANDRADE, Eunice Maia de. Eficiência da cobertura vegetal na redução das perdas de água e solo no município de Iguatu. **Irriga**, Botucatu. v. 3, n. 1, p. 133 – 142, 2018.

PLANO Ambiental de Pelotas. Prefeitura Municipal de Pelotas, Secretaria de Qualidade Ambiental. Pelotas, 2013. 120p.

PONTES, Lucas Machado; COELHO, Gilberto; MELLO, Carlos Rogério de; SILVA, Antônio Marciano da; OLIVEIRA, Geraldo César de. Análise de sensibilidade e avaliação da estrutura do modelo BALSEQ em condições distintas de clima, solo e vegetação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 20, n. 1, p. 46 – 54, 2015.

POSSANTTI, Iporã Brito; DORNELLES, Fernando. Prognóstico por modelagem da eficácia de banhado de chuva no atendimento do enquadramento de um rio urbano. **Caminhos de Geografia**. v. 18, n. 64, p. 129 – 146, 2017.

RIZZO, Rodnei; DEMATTÊ, José A. M.; LEPSCH, Igo F.; GALLO, Bruna C.; FONGARO, Caio T. Digital soil mapping at local scale using a multi-depth VisNIR spectral library and terrain attributes. **Geoderma**. v. 274, p. 18 – 27, 2016.

RODRIGUES, Dulce B. B.; GUPTA, Hoshin V.; MEDIONDO, Eduardo M. A blue/green water-based accounting framework for assessment of water security. **Water Resources Research**. v. 50, n. 9, p. 7187 – 7205, 2014.

RODRIGUES, Rogério Rangel; CÂNDIDO, Amarilson de Oliveira; FERRARI, Jéferson Luiz; LIMA, Wallace Luís de. Percepção ambiental de moradores da sub-bacia hidrográfica do córrego horizonte sob os aspectos da conservação do solo e água. **Boletim de Geografia**. v. 33, n. 3, p. 106 – 120, 2015a.

RODRIGUES, Valdemir Antonio; SÁNCHEZ-ROMÁN, Rodrigo M.; TARJUELO, José Maria; SARTORI, Maria Márcia Pereira; CANALES, Antonio Ruiz. Avaliação do escoamento e interceptação da água das chuvas. **Irriga**. Edição especial, p. 1 – 13, 2015b.

SANTOS, Franciane Mendonça dos; LOLLO, José Augusto de. Cartografia digital para estimativa de escoamento superficial visando ao planejamento urbano. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 21, n. 4, p. 663 – 675, 2016.

SANTOS, Lílian de Paula; SILVA, Lucas Guimarães da; BELISSARIO, Denise Lima; TARGA, Marcelo dos Santos; COCCO, Maria Dolores Alves; ALMEIDA, Ana Aparecida da Silva. Hidrogramas para a bacia do rio Rocinha no município de Taubaté, SP. **Repositório de Ciências Ambientais**. v. 1, n. 1, p. 1 – 13, 2017.

SARTORI, Aderson. **Desenvolvimento de critérios para classificação hidrológica de solos e determinação de valores de referência para o parâmetro CN**. 2010. 237 p. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, SP, 2010.

SARTORI, Aderson; GENOVEZ, Abel Maia. Critérios para classificação hidrológica de solos tropicais brasileiros. In: XIX SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS. **Anais...** Maceió, AL. 2011.

SARTORI, Aderson; LOMBARDI NETO, Francisco; GENOVEZ, Abel Maia. 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**, v. 10, n. 4, p. 05 - 18, 2005a.

SARTORI, Aderson; GENOVEZ, Abel Maia; LOMBARDI NETO, Francisco. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 2: Aplicação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 19 - 29, 2005b.

SCS. **National engineering handbook**. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service (SCS), 1972.

SEMA. Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Rio Grande do Sul. Disponível em < <http://www.sema.rs.gov.br/>>. Acesso em 20 mar. 2016.

SETZER, J.; PORTO, R. L. L. Tentativa de avaliação do escoamento superficial de acordo com o solo e seu recobrimento vegetal nas condições do Estado de São Paulo. **Boletim Técnico DAEE**. v. 2, n. 2, p. 81 – 104. São Paulo, 1979.

SILVA, Camila Bittencourt; OLIVEIRA, Luiz Fernando Coutinho. Relação Intensidade – Duração – Frequência de chuvas extremas na região nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 20, p. 267 – 283, 2017.

SILVA, Edson Vicente da; RODRIGUEZ, José Manuel Mateo. Planejamento e zoneamento de bacias hidrográficas: a geoecologia das paisagens como subsídio para uma gestão integrada. **Caderno Prudentino de Geografia**. Volume especial, n. 36, p. 4 - 17, 2014.

SILVA, Lucas Alves da; SILVA, Antônio Marciano da; COELHO, Gilberto; PINTO, Leandro Campos. Soil map units of Minas Gerais state from the perspective of hydrologic groups. **Ambiente & Água – Na Interdisciplinary Journal of Applied Science**. v. 1, n. 1, p. 1 – 13, 2018.

SILVA, Madson Tavares; AZEVEDO, Pedro Vieira de; SILVA, Vicente de Paulo Rodrigues da; SILVA, Bruce Kelly da Nobrega; MARIANO, Everson Batista; AMORIM, Marcos Renato Basílio. Estimativa da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do submédio Rio São Francisco. **Journal of Environmental Analysis and Progress**. v. 2; n. 3; p. 203 – 211, 2017.

SILVA, Mirna Karla Amorim da; ROSA, Roberto. Metodologia para simulação de vazão em bacias hidrográficas: o caso da sub-bacia hidrográfica Fazenda Letreiro – MG. **Caderno de Geografia**. v. 27, n. 48, p. 44 – 72, 2017.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 10, n. 1, p. 5 – 23, 2005.

SIMIONI, João Paulo Delapasse; GUASSELLI, Laurindo Antonio. Banhados: abordagem conceitual. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre. n. 30, p. 33 – 47, 2017.

SIMON, Adriano Luís Heck; FELIPIM, Tamara; LOPES, Ândrea Lenise de Oliveira. Bacia do Arroio Chasqueiro (RS): alterações morfohidrográficas vinculadas à dinâmica de cobertura e uso da terra. **Revista do Departamento de Geografia**. Universidade de São Paulo. Volume Especial. Eixo 12, p. 278 – 286. 2017.

SINGH, P. K.; BHUNYA, P. K.; MISHRA, S. K.; CHAUBE, U. C. A sediment graph model based on SCS-CN method. **Journal of Hydrology**, v.349, p.244255, 2008.

SOARES, Márcia Regina Gomes de Jesus; FIORI, Chisato Oka; SILVEIRA, Claudinei Taborda da; KAVISKI, Eloy. Eficiência do método *Curve Number* de retenção de águas pluviais. **Mercator**. v. 16, p. 1 – 16, 2017.

SOARES, Mauricio Fornalski. **Variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos e do carbono orgânico do solo de uma bacia hidrográfica de cabeceira em Canguçu-RS**. 103 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

SOUZA, Thyellen Lopes de; CAMPOS, Sérgio; CAMPOS, Marcelo; RODRIGUES, Bruno Timóteo; GOMES, Edéria Pereira. Sistema de Informação Geográfica na análise hidrológica e ambiental de uma microbacia. **Tekhne e Logos**. v. 8, n. 3, p. 112 – 127, 2017.

SOUZA, Vladimir; GALVANI, Emerson. Determinação do potencial natural à erosão laminar na bacia do Rio Jacaré Guaçú (SP). **Revista Ra'eGa**. v. 39, p. 8 – 23, 2017.

STRECK, Edemar Valdir, et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222p.

TASSI, Rutinéia; ALLASIA, Daniel G.; MELLER, Adalberto; MIRANDA, Talita C.; HOLZ, Josiane; SILVEIRA, André L. L. da. Determinação do parâmetro CN para sub-bacias urbanas do Arroio Dilúvio – Porto Alegre/RS. In: I SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE, 2006, Curitiba.

TECHNICAL RELEASE 55 (TR-55). **Urban Hydrology of Small Watersheds**. USDA, NRCS, 1986.

USDA – NRCS. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. Hydrologic Soil-Cover Complexes. In: USDA - NRCS. **National Engineering Handbook**: Part 630. Washington, USDA-NRCS, USA, 2004.

USDA – NRCS. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. Hydrologic Soil Groups. In: USDA - NRCS. **National Engineering Handbook**: Part 630. Washington, USDA-NRCS, USA, 2009.

UNIYAL, Bhumika; DIETRICH, Jörg; VASILAKOS, Christos; TZORAKI, Ourania. Evaluation of SWAT simulated soil moisture at catchment scale by field measurements and Landsat derived indices. **Agricultural Water Management**. v. 193, p. 55 – 70, 2017.

VALADARES, Fernanda Vargas; VENANCIO, Daniela Fosse Valbão; COSTA, Daniela; GONÇALVES, Débora Cristina; BOLDRINI, Kamilla Matos; FERRARI, Jéferson Luiz. **Revista UniVap**. v. 22, n. 40, 2017.

VANZELA, Luiz S.; HERNANDEZ, Fernando B. T.; FRANCO, Renato A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 14, n. 1, p. 55 – 64, 2010.

WAHREN, Filipa Tavares; JULICH Stefan; NUNES, João Pedro; GONZALESPELAYO, Oscar; HAWTREE, Daniel; FEGER, Karl-Heinz; KEIZER, Jan Jacob. Combining digital soil mapping and hydrological modeling in a data scarce watershed in north-central Portugal. **Geoderma**. v. 264, p. 350 – 362, 2016.

WENZEL, Denise Aline; ULIANA, Eduardo Morgan; ALMEIDA, Frederico Terra de; SOUZA, Adilson Pacheco de; MENDES, Múcio André dos Santos Alves; SOUZA, Lucas Gerônimo da Silva. Características fisiográficas de sub-bacias do Médio e Alto Rio Teles Pires, Mato Grosso. **Revista de Ciências Agroambientais**. v. 15, n. 2, p. 124 – 131, 2017.

Apêndices

Apêndice A. Operação álgebra booleana condicional que gerou a matriz numérica com os valores de CN para a sub-bacia Fragata.

```
1 {
2 //TESE Elisa: transforma as classes temáticas de uso do solo e classificação de solos hidrologicos em um PI Numérico
3 //declaração das variáveis de entrada
4 Tematico s1 ("CAT_fematico");
5 Tematico s2 ("CAT_fematico");
6 Numerico p1 ("CAT_MNT");
7
8 s1 = Recupere( Nome = "Usoterra30");
9 s2 = Recupere( Nome = "Soloshidrologicos30");
10 p1 = Novo( Nome = "CN" , ResX = 30 , ResY = 30 , Escala = 500000.00);
11
12 //operação
13 //floresta
14 //alagadas
15 //exposto
16 //pastagem
17 //urbano
18 //HidroC
19 //HidroD
20 p1 = (s1.Classe=="alagadas"&& s2.Classe=="HidroC")?98:(s1.Classe=="alagadas"&& s2.Classe=="urbano"&& s2.Classe=="HidroC")?98:
21 (s1.Classe=="urbano"&& s2.Classe=="HidroD")?98:(s1.Classe=="pastagem"&& s2.Classe=="HidroC")?74:(s1.Classe=="pastagem"&& s2.Classe=="HidroD")?80:
22 (s1.Classe=="floresta"&& s2.Classe=="HidroC")?70:(s1.Classe=="floresta"&& s2.Classe=="exposto"&& s2.Classe=="HidroC")?77:(s1.Classe=="exposto"&& s2.Classe=="HidroD")?89:p1;
23
24
25 }
```

Apêndice B. Planilha gerada no Excel cujos cálculos culminaram no gráfico de precipitações total e efetiva para a sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata, para o período de retorno de 10 anos.

L (km)	28	Tr	10	50	100		
S (m.m ⁻¹)	0,0045						
tc (h)	6,9				CN	82	
tc (min)	414,47				S	55,7561	
D (min)	I (mm.h ⁻¹)	P (mm.s ⁻¹)	P (mm.s ⁻¹) des	RE-ARRANJO	RE-ARRANJO ACUM.	Pe (mm.s ⁻¹)	Pe desac. (mm.s ⁻¹)
10	130,19	21,70	21,70	0,70	0,70	2,40990043	2,41
20	101,85	33,95	12,25	0,73	1,44	2,05016248	-0,36
30	84,59	42,30	8,35	0,77	2,20	1,7100087	-0,34
40	72,86	48,57	6,28	0,81	3,01	1,39114319	-0,32
50	64,31	53,59	5,01	0,85	3,86	1,09563326	-0,30
60	57,76	57,76	4,17	0,90	4,77	0,82601363	-0,27
70	52,57	61,33	3,57	0,96	5,72	0,58543052	-0,24
80	48,34	64,46	3,13	1,02	6,75	0,37784532	-0,21
90	44,83	67,24	2,78	1,10	7,85	0,20832942	-0,17
100	41,85	69,75	2,51	1,19	9,03	0,08350348	-0,12
110	39,28893	72,03	2,28	1,30	10,33	0,01221345	-0,07
120	37,06416	74,13	2,10	1,43	11,76	0,00661204	-0,01
130	35,10987	76,07	1,94	1,60	13,36	0,0839702	0,08
140	33,37786	77,88	1,81	1,81	15,17	0,26988652	0,19
150	31,83093	79,58	1,70	2,10	17,27	0,6043834	0,33
160	30,43987	81,17	1,60	2,51	19,77	1,15456695	0,55
170	29,18141	82,68	1,51	3,13	22,90	2,04422653	0,89
180	28,03676	84,11	1,43	4,17	27,07	3,53557396	1,49
190	26,99058	85,47	1,36	6,28	33,35	6,32036721	2,78
200	26,03023	86,77	1,30	12,25	45,60	13,1554134	6,84
210	25,14517	88,01	1,24	21,70	67,30	28,1706238	15,02
220	24,32653	89,20	1,19	8,35	75,64	34,5898207	6,42
230	23,56684	90,34	1,14	5,01	80,66	38,5697994	3,98
240	22,85971	91,44	1,10	3,57	84,23	41,4540501	2,88
250	22,19965	92,50	1,06	2,78	87,01	43,7248246	2,27
260	21,58193	93,52	1,02	2,28	89,30	45,6054162	1,88
270	21,00245	94,51	0,99	1,94	91,24	47,2163881	1,61
280	20,45764	95,47	0,96	1,70	92,93	48,6299085	1,41
290	19,94433	96,40	0,93	1,51	94,44	49,8924982	1,26
300	19,45978	97,30	0,90	1,36	95,80	51,0358653	1,14
310	19,00154	98,17	0,88	1,24	97,04	52,0825826	1,05
320	18,56743	99,03	0,85	1,14	98,19	53,0492889	0,97
330	18,15552	99,86	0,83	1,06	99,24	53,9486044	0,90
340	17,76409	100,66	0,81	0,99	100,23	54,7903309	0,84
350	17,39159	101,45	0,79	0,93	101,16	55,5822362	0,79
360	17,03661	102,22	0,77	0,88	102,04	56,3305828	0,75
370	16,69791	102,97	0,75	0,83	102,87	57,0404956	0,71
380	16,37433	103,70	0,73	0,79	103,66	57,7162232	0,68
390	16,06486	104,42	0,72	0,75	104,41	58,3613285	0,65
400	15,76854	105,12	0,70	0,72	105,12	58,97883	0,62
410	15,48453	105,81	0,69	0,69	105,81	59,5713082	0,59
420	15,21205	106,48	0,67	0,67	106,48	60,1525455	0,58

Apêndice C. Planilha gerada no Excel cujos cálculos culminaram no gráfico de precipitações total e efetiva para a sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata, para o período de retorno de 50 anos.

L (km)	28		Tr		10		50		100
S (m.m ⁻¹)	0,0045								
tc (h)	6,9							CN	82
tc (min)	414,47							S	55,7561
D(min)	I (mm.h ⁻¹)	P(mm.s ⁻¹)	P(mm.s ⁻¹) des	RE-ARRANJO	RE-ARRANJO ACUM.	Pe (mm.s ⁻¹)	Pe desac. (mm.s ⁻¹)	Pe desac. (mm.s ⁻¹)	
10	169,24	28,21	28,21	0,91	0,91	2,303037094	2,30	0,00	
20	132,40	44,13	15,93	0,95	1,87	1,855078052	-0,45	0,00	
30	109,97	54,98	10,85	1,00	2,87	1,446143092	-0,41	0,00	
40	94,72	63,15	8,16	1,05	3,92	1,07892686	-0,37	0,00	
50	83,60	69,66	6,52	1,11	5,02	0,75672697	-0,32	0,00	
60	75,09	75,09	5,42	1,17	6,19	0,483611229	-0,27	0,00	
70	68,34	79,73	4,64	1,25	7,44	0,264648003	-0,22	0,00	
80	62,85	83,80	4,06	1,33	8,77	0,106230366	-0,16	0,00	
90	58,27	87,41	3,61	1,43	10,20	0,016543337	-0,09	0,00	
100	54,40	90,67	3,26	1,55	11,74	0,006256386	-0,01	0,00	
110	51,07	93,64	2,97	1,69	13,43	0,089583584	0,08	0,08	
120	48,18	96,36	2,73	1,86	15,29	0,285969657	0,20	0,20	
130	45,64	98,89	2,53	2,07	17,36	0,622896542	0,34	0,34	
140	43,39	101,24	2,35	2,35	19,72	1,1408214	0,52	0,52	
150	41,38	103,45	2,20	2,73	22,45	1,902485044	0,76	0,76	
160	39,57	105,52	2,07	3,26	25,70	3,012077331	1,11	1,11	
170	37,93	107,48	1,96	4,06	29,77	4,659607317	1,65	1,65	
180	36,45	109,34	1,86	5,42	35,19	7,242001117	2,58	2,58	
190	35,09	111,11	1,77	8,16	43,35	11,78806098	4,55	4,55	
200	33,84	112,79	1,69	15,93	59,28	22,29587168	10,51	10,51	
210	32,69	114,41	1,61	28,21	87,48	44,1174229	21,82	21,82	
220	31,62	115,95	1,55	10,85	98,34	53,17678993	9,07	9,07	
230	30,64	117,44	1,48	6,52	104,85	58,74744775	5,57	5,57	
240	29,72	118,87	1,43	4,64	109,50	62,76461801	4,02	4,02	
250	28,86	120,24	1,38	3,61	113,11	65,91688068	3,15	3,15	
260	28,06	121,58	1,33	2,97	116,08	68,52107329	2,60	2,60	
270	27,30	122,86	1,29	2,53	118,61	70,74756729	2,23	2,23	
280	26,59	124,11	1,25	2,20	120,81	72,6980428	1,95	1,95	
290	25,93	125,31	1,21	1,96	122,77	74,43789371	1,74	1,74	
300	25,30	126,49	1,17	1,77	124,54	76,01160904	1,57	1,57	
310	24,70	127,62	1,14	1,61	126,15	77,45081086	1,44	1,44	
320	24,14	128,73	1,11	1,48	127,64	78,77877781	1,33	1,33	
330	23,60	129,81	1,08	1,38	129,02	80,01314539	1,23	1,23	
340	23,09	130,86	1,05	1,29	130,30	81,16759708	1,15	1,15	
350	22,61	131,88	1,02	1,21	131,51	82,25296673	1,09	1,09	
360	22,15	132,88	1,00	1,14	132,65	83,27798159	1,03	1,03	
370	21,71	133,86	0,98	1,08	133,72	84,24977805	0,97	0,97	
380	21,29	134,81	0,95	1,02	134,75	85,17426833	0,92	0,92	
390	20,88	135,74	0,93	0,98	135,72	86,05640732	0,88	0,88	
400	20,50	136,66	0,91	0,93	136,66	86,90039014	0,84	0,84	
410	20,13	137,55	0,89	0,89	137,55	87,70980128	0,81	0,81	
420	19,78	138,43	0,88	0,88	138,43	88,50350855	0,79	0,79	

Apêndice D. Planilha gerada no Excel cujos cálculos culminaram no gráfico de precipitações total e efetiva para a sub-bacia hidrográfica do arroio Fragata, para o período de retorno de 100 anos.

L (km)	28	Tr	10	50	100		
S (m.m ⁻¹)	0,0045						
tc (h)	6,9					CN	82
tc (min)	414,47					S	55,7561
D(min)	I (mm.h ⁻¹)	P(mm.s ⁻¹)	P(mm.s ⁻¹)	RE-ARRANJO	RE-ARRANJO	Pe (mm.s ⁻¹)	Pe desac. (mm.s ⁻¹)
10	189,48	31,58	31,58	1,02	1,02	2,24879587	2,25
20	148,23	49,41	17,83	1,07	2,09	1,75849521	-0,49
30	123,12	61,56	12,15	1,12	3,21	1,31943415	-0,44
40	106,05	70,70	9,14	1,18	4,38	0,93473415	-0,38
50	93,60	78,00	7,30	1,24	5,62	0,60825538	-0,33
60	84,07	84,07	6,07	1,31	6,94	0,34479736	-0,26
70	76,52	89,27	5,20	1,39	8,33	0,15037534	-0,19
80	70,36	93,82	4,55	1,49	9,82	0,03260862	-0,12
90	65,24	97,87	4,05	1,60	11,42	0,00127974	-0,03
100	60,91	101,51	3,65	1,73	13,15	0,06916196	0,07
110	57,18	104,84	3,32	1,89	15,04	0,25328406	0,18
120	53,95	107,89	3,05	2,08	17,12	0,57693794	0,32
130	51,10	110,72	2,83	2,32	19,44	1,0730137	0,50
140	48,58	113,35	2,63	2,63	22,08	1,78985381	0,72
150	46,33	115,82	2,47	3,05	25,13	2,80226002	1,01
160	44,30	118,14	2,32	3,65	28,78	4,23408917	1,43
170	42,47	120,34	2,19	4,55	33,33	6,31038659	2,08
180	40,81	122,42	2,08	6,07	39,40	9,49909039	3,19
190	39,28	124,40	1,98	9,14	48,54	15,0057244	5,51
200	37,89	126,29	1,89	17,83	66,37	27,4742116	12,47
210	36,60	128,09	1,81	31,58	97,95	52,8483087	25,37
220	35,41	129,82	1,73	12,15	110,10	63,2854329	10,44
230	34,30	131,49	1,66	7,30	117,40	69,679144	6,39
240	33,27	133,09	1,60	5,20	122,60	74,2818687	4,60
250	32,31	134,63	1,54	4,05	126,64	77,8894227	3,61
260	31,41	136,12	1,49	3,32	129,97	80,8671807	2,98
270	30,57	137,56	1,44	2,83	132,79	83,4113312	2,54
280	29,78	138,95	1,39	2,47	135,26	85,63884	2,23
290	29,03	140,30	1,35	2,19	137,46	87,6248711	1,99
300	28,32	141,61	1,31	1,98	139,44	89,4205267	1,80
310	27,66	142,89	1,27	1,81	141,24	91,0621098	1,64
320	27,02	144,13	1,24	1,66	142,90	92,5763324	1,51
330	26,42	145,34	1,21	1,54	144,45	93,9834229	1,41
340	25,85	146,51	1,18	1,44	145,89	95,299071	1,32
350	25,31	147,66	1,15	1,35	147,24	96,535695	1,24
360	24,80	148,78	1,12	1,27	148,51	97,7032954	1,17
370	24,30	149,87	1,09	1,21	149,72	98,8100479	1,11
380	23,83	150,94	1,07	1,15	150,87	99,862724	1,05
390	23,38	151,98	1,04	1,09	151,96	100,866997	1,00
400	22,95	153,00	1,02	1,04	153,00	101,827671	0,96
410	22,54	154,00	1,00	1,00	154,00	102,748847	0,92
420	22,14	154,98	0,98	0,98	154,98	103,652015	0,90

Anexo

Anexo A. Tabela USDA-NRCS (2004), de onde foram identificados os valores CN para as sinergias encontradas na sub-bacia Fragata entre grupo hidrológico e cobertura de solo.

cover type	Cover description, treatment ^{2/}	hydrologic condition ^{3/}	-- CN for hydrologic soil group --			
			A	B	C	D
Pasture, grassland, or range-continuous forage for grazing ^{4/}		Poor	68	79	86	89
		Fair	49	69	79	84
		Good	39	61	74	80
Meadow-continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay		Good	30	58	71	78
Brush-brush-forbs-grass mixture with brush the major element ^{5/}		Poor	48	67	77	83
		Fair	35	56	70	77
		Good	30 ^{6/}	48	65	73
Woods-grass combination (orchard or tree farm) ^{7/}		Poor	57	73	82	86
		Fair	43	65	76	82
		Good	32	58	72	79
Woods ^{8/}		Poor	45	66	77	83
		Fair	36	60	73	79
		Good	30	55	70	77
Farmstead—buildings, lanes, driveways, and surrounding lots		---	59	74	82	86
Roads (including right-of-way):						
Dirt		---	72	82	87	89
Gravel		---	76	85	89	91