



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE  
NÚCLEO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ BANDIM DE ALMEIDA NETO

**DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUA NOS SOLOS  
DO ESTADO DE PERNAMBUCO**

Caruaru  
2019

JOSÉ BANDIM DE ALMEIDA NETO

**DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUA NOS SOLOS  
DO ESTADO DE PERNAMBUCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do  
Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE,  
como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. José Almir Cirilo.

Caruaru

2019



JOSÉ BANDIM DE ALMEIDA NETO

**DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUA NOS SOLOS  
DO ESTADO DE PERNAMBUCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do  
Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE,  
como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

A banca examinadora, composta pelos docentes abaixo, considera o candidato  
APROVADO com nota: \_\_\_\_\_.

Caruaru, 08 de julho de 2019.

Banca examinadora:

Prof. Dr. José Almir Cirilo

Universidade Federal de Pernambuco

\_\_\_\_\_  
Orientador

Prof. Dr. Artur Paiva Coutinho

Universidade Federal de Pernambuco

\_\_\_\_\_  
Avaliador

Prof. Dr. Saulo de Tarso Marques Bezerra

Universidade Federal de Pernambuco

\_\_\_\_\_  
Avaliador

Prof. Dr. Elder Alpes de Vasconcelos

Universidade Federal de Pernambuco

\_\_\_\_\_  
Coordenador da Disciplina

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me portar de saúde, força e possibilitar conquistas nesta etapa da minha vida.

Aos meus Pais Everaldo Bandim de Almeida e Mônica Cristina Silva Almeida pelo apoio, incentivo e amor, sendo os pilares que sem os quais não seria possível tal acontecimento. Aos meus irmãos Henrique Bandim e Ana Bandim que me apoiaram e por serem meu conforto do dia a dia. Aos demais familiares que me incentivaram e me apoiaram.

Aos os meus colegas e amigos que adquiri ao longo do curso pelo apoio, incentivo e companheirismo. Sem eles não seria possível concluir esta etapa, tornando o dia-a-dia ao longo dos 5 anos mais leve.

Ao professor Dr. José Almir Cirilo pelo exemplo de profissional e a disponibilidade para me orientar e permitir a realização deste trabalho além das demais atividades realizadas durante o curso.

A Universidade Federal de Pernambuco pela infraestrutura, disponibilidade do curso e corpo docente que permitiu a minha formação acadêmica, profissional e caráter como pessoa.

Ao Eng. Romero Torres pela contribuição profissional que permitiu a conclusão deste etapa.

A todos demais que contribuíram de alguma forma para minha formação acadêmica.

“A moderação é uma coisa fatal (...). Nada tem mais sucesso do que o  
excesso”

Abraham Lincoln

## RESUMO

A região do semiárido brasileiro é suscetível a maiores dificuldades econômicas e sociais devido à escassez de um bem comum a todos: a água. Assim, o uso de ferramentas que possibilitem o aproveitamento máximo deste recurso é impreterível. Portanto, torna-se necessário o conhecimento sobre as diversas etapas do ciclo hidrológico. Entre essas etapas pode-se citar o escoamento superficial e as premissas que o acompanham, como a infiltração e o escoamento subterrâneo, mantendo-se acumulada parcela de água no solo até mesmo depois de extinto o deflúvio. Objetiva-se neste trabalho reunir e sistematizar dados e informações que permitam calcular o potencial de acumulação de água dos solos do estado de Pernambuco, gerando uma ferramenta para estudos hidrológicos, além de contribuir para análise do aproveitamento dos solos do estado com finalidade hídrica. Foi realizado o cálculo do potencial de acumulação (S), por meio da classificação hidrológica e de dados sobre a cobertura dos solos do estado. Para classificar hidrologicamente foi considerado as características de cada solo, como: textura, profundidade e capacidade de drenagem. O resultado da classificação hidrológica foi de que há uma predominância de solos que apresentam o grupo D, porém nos extremos leste e oeste do Estado têm-se uma maior variabilidade dos grupos hidrológicos. Quanto ao valor do S, foi obtido para o estado de Pernambuco um valor de CN médio de 68,44, correspondendo a um valor de S de 117,13 mm. Quando analisadas as mesorregiões, as regiões da Zona da Mata e Metropolitana apresentaram os valores médios do parâmetro S de 208,88 mm e 135,64 mm, respectivamente, sendo os maiores valores registrados. A região com menor valor de S encontrado foi o Agreste, com 90,46 mm. Com finalidade de facilitar a aplicação dos resultados em todas as bacias hidrográficas do estado, foi desenvolvido um *plugin* no QGIS em linguagem Python, com o qual, a partir do fornecimento do arquivo de entrada “*shapefile*” da bacia, é determinado o CN e S médio.

**Palavras – Chave:** Escassez hídrica. Classificação hidrológica dos solos. Método SCS.

## ABSTRACT

The Brazilian Semiarid region is susceptible to greater economic and social difficulties due to the scarcity of a common good to all: water. Thus, the use of tools that allow maximum use of this resource is imperative. Therefore, knowledge about the various stages of the hydrological cycle becomes necessary. Among the steps we can mention the surface runoff and the premises that accompany it, such as infiltration and underground flow, remaining a portion of water accumulated in the soil after the end of defluvium. The objective of this work is to gather and systematize data and information that allow the calculation of soil water accumulation potential in the state of Pernambuco, generating a tool for hydrological studies, besides contributing to the analysis of the use of the soils of the state with hydrous purposes. The accumulation potential (S) was calculated by means of the hydrological classification and data soil cover of state. To classify hydrologically some characteristics of each soil were considered, such as: texture, depth and drainage capacity. The result of hydrological classification was the predominance of soils of the group D, but in the extreme east and west of the state there is a greater variability of the hydrological groups. An average CN value of 68.44 was obtained for the state of Pernambuco, corresponding to an S value of 117.13 mm. When the mesoregions were analyzed, the regions of the Zona da Mata and Metropolitana had the mean values of the S parameter of 208.88 mm and 135.64 mm respectively, corresponding to the highest recorded values. The region with the lowest S value was the Agreste, with 90.46 mm. Seeking to facilitate the application of the results in all the watersheds of the state, a plugin was developed in QGIS with the Python language, from which with the input of the file “shapefile” of the basin resulting in the CN and S medium.

**Keywords:** Water scarcity. Soil hydrological classification. SCS Method.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo Hidrológico. ....	18
Figura 2 - Produção de escoamento superficial com a variação da taxa de infiltração. ....	19
Figura 3 - Influência do uso e ocupação do solo na infiltração no solo. ....	22
Figura 4 - Gráfico relacionando escoamento superficial com a precipitação para diferentes valores de curva número ( $I_a=0,2S$ ). ....	25
Figura 5 - Esquema do modelo CAWM IV. ....	37
Figura 6 - Esquema do modelo CAWM V. ....	37
Figura 7 - Mapa de localização do estado de Pernambuco e suas mesorregiões. ....	39
Figura 8 - Grupo de Solos do Estado de Pernambuco. ....	42
Figura 9 - Mapa de Uso e Ocupação do estado de Pernambuco. ....	47
Figura 10 - Fluxograma para determinação do valor do CN para cada conjunto de solo e uso e ocupação. ....	48
Figura 11 - Mapeamento dos Grupos Hidrológicos para o Estado de Pernambuco. ....	54
Figura 12 - Mapeamento dos valores de S para o estado de Pernambuco. ....	56
Figura 13 - Valor do S para região Metropolitana do Recife. ....	57
Figura 14 - Valor do S para região da Zona da Mata pernambucano. ....	58
Figura 15 - Valor do S para região do Agreste pernambucano. ....	59
Figura 16 - Valor do S para o Sertão pernambucano. ....	59
Figura 17 - Valor do S para a região do São Francisco pernambucano. ....	60
Figura 18 - Caminho para extrair o plugin no QGIS. ....	66
Figura 19 - Ativação do Plugin no QGIS. ....	67
Figura 20 - Caminho da pasta de plugin pelo repositório do QGIS. ....	67
Figura 21 - Abrindo o plugin pela aba vetor do QGIS. ....	68
Figura 22 - Interface do Plugin no QGIS. ....	68
Figura 23 - Preenchimento do plugin com os dados. ....	69
Figura 24 - Arquivo .CSV com o CN médio e o valor do S médio para bacia. ....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - CN para terras áridas e semiáridas <sup>1</sup> . .....	30
Tabela 2 - CN para Terras agrícolas <sup>1</sup> . .....	31
Tabela 3 - CN para outros usos agrícolas <sup>1</sup> . .....	32
Tabela 4 - CN para áreas urbanas <sup>1</sup> . .....	34
Tabela 5 - CN para cana-de-açúcar no Havaí <sup>1</sup> . .....	35
Tabela 6 - Valor do CN para Bacias Rurais. ....	35
Tabela 7 - Resumo dos valores de CN adotado. ....	49
Tabela 8 - Correspondência entre as classificações adotadas no ZAPE e o sistema brasileiro de classificação de solos e a classificação adotada. ....	52
Tabela 9 - Percentual de cada grupo hidrológico nas mesorregiões do estado de Pernambuco. .....	53
Tabela 10 - Valor do CN e S (mm) para as mesorregiões do estado de Pernambuco. ....	55
Tabela 11 - Aplicação do valor do S em estudos. ....	60

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AMC I	<i>Antecedent Moisture Condition I</i>
AMC II	<i>Antecedent Moisture Condition II</i>
AMC III	<i>Antecedent Moisture Condition III</i>
AS'	Clima tropical úmido
BSh	Clima semiárido extremamente quente de estepe
C	Contorno
CAWM	<i>Campus Agreste Watershed Model</i>
C&T	Contorno com terraceamento
CR	Cobertura com resíduo de cultura
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA	Estados Unidos da América
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NRCS	<i>Natural Resources Conservation Service</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
QGIS	<i>Quantum GIS</i>
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SR	Plantio em linha reta
Ta	Argila de atividade alta
Tb	Argila de atividade baixa
ZAPE	Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco

## LISTA DE SÍMBOLOS

CN	Curva Número no AMCII
CN <sub>I</sub>	Curva Número no AMCI
CN <sub>III</sub>	Curva Número no AMCIII
Ed	Evapotranspiração
Es	Evapotranspiração complementar extraída das camadas mais superficiais
F <sub>d</sub>	Escoamento superficial direto para a calha fluvial
F <sub>L</sub>	Perdas de água no sistema
F <sub>r</sub>	Escoamento fluvial
F <sub>s</sub>	Volume percolado em direção a calha fluvial
I <sub>a</sub>	Abstração Inicial
P	Precipitação total
P	Precipitação total
P <sub>s</sub>	Recarga no solo
P <sub>G</sub>	Fluxo de percolação profunda
Q	Escoamento Superficial
R	Calha fluvial
S	Potencial de Acumulação de Água
S <sub>t</sub>	Armazenamento de água ao longo do tempo
G	Lâmina acumulada

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>Ciclo Hidrológico .....</b>	<b>17</b>
3.1.1	Escoamento superficial .....	19
3.1.2	Infiltração e escoamento subterrâneo .....	20
<b>3.2</b>	<b>Modelos Hidrológicos .....</b>	<b>22</b>
<b>3.3</b>	<b>Modelo chuva-vazão do serviço de conservação de solos dos Estados Unidos (SCS) .....</b>	<b>24</b>
3.3.1	Descrição do modelo .....	24
3.3.2	Classificação Hidrológica do solo .....	27
3.3.3	Determinação do valor do CN .....	30
<b>3.4</b>	<b>Aplicação do parâmetro S ao modelo CAWM.....</b>	<b>36</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterização do Estado de Pernambuco.....</b>	<b>39</b>
4.1.1	Localização .....	39
4.1.2	Clima .....	40
4.1.3	Solos .....	40
4.1.3.1	<i>Características descritas no ZAPE.....</i>	<i>40</i>
4.1.3.2	<i>Tipos de Solos e suas características .....</i>	<i>41</i>
4.1.4	Uso e Ocupação dos solos .....	44
<b>4.2</b>	<b>Processamento dos dados .....</b>	<b>47</b>
4.2.2	Grupo Hidrológico dos solos .....	47
4.2.3	Uso e ocupação do solo e valores da Curva Número .....	48

4.2.4	Cálculo do potencial de acumulação de água (S) .....	49
4.3	Sistematização da obtenção do S no QGIS.....	50
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>52</b>
5.1	Classificação Hidrológica .....	52
5.2	Potencial de Acumulação de Água nos Solos (S).....	55
5.3	Aplicação dos resultados .....	60
5.4	Plugin do QGIS .....	61
6	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>62</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>
	<b>ANEXO 1 : MANUAL DE USO DO PLUGIN PARA OBTER O VALOR DA CAPACIDADE MÉDIA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO - S .....</b>	<b>66</b>
	<b>ANEXO 2 : ALGORITMO DO PLUGIN PARA DETERMINAÇÃO DO CN E S. .....</b>	<b>71</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A avaliação do escoamento superficial e a capacidade de infiltração do solo é de fundamental importância para projetos de cunho hidrológico. Sua determinação, muitas vezes, exige a valoração de diversos parâmetros e fatores que envolvem desde o conhecimento do ciclo hidrológico da região, como intensidade e distribuição das chuvas e evapotranspiração, até os tipos de solos existentes e o seu uso e manejo. Um parâmetro muito importante para modelos hidrológicos que consideram o balanço hídrico no solo é o potencial de acumulação de água. Sua determinação envolve certa dificuldade, pois, exige conhecimento de diversas características do solo e sua cobertura.

Em tempos de escassez hídrica evidencia-se a importância do aproveitamento máximo dos recursos naturais no estado de Pernambuco, buscando alternativas que se adequem as condições da região. Assim, motiva-se realizar neste trabalho o estudo da capacidade hídrica do meio subterrâneo, sendo o potencial de acumulação de água dos solos um parâmetro extremamente importante. Este parâmetro é essencial, haja vista que quanto maior o potencial do solo, mais propício o aproveitamento com tecnologias subterrâneas, além do fato de sua importância em modelos hidrológicos que consideram o balanço hídrico do solo.

Um modelo que permite a determinação do potencial hídrico dos solos é método da Curva Número do Serviço de Conservação do Solos dos Estados Unidos (SCS). O modelo é relativamente simples de ser aplicado e requer um número razoável de informações, sendo muito utilizado em regiões que carecem de dados sobre vazão. É um modelo que já é bastante difundido e com um alto índice de aplicação em bacia hidrográficas. O método foi originalmente desenvolvido para áreas rurais, porém, atualmente é muito aplicado em áreas urbanas (SARTORI, 2004). O modelo consiste na determinação do parâmetro curva número (CN) que é utilizado para determinar o escoamento superficial e o potencial de acumulação de água no solo (S). Este parâmetro é tabelado pela própria NRCS (2004a) e por outros autores como Tucci (2002), na qual dependem do grupo hidrológico do solo, da cobertura e/ou manejo do solo e da condição da umidade antecedente do solo.

O modelo da Curva Número parte do princípio da classificação dos solos em Grupos Hidrológico que dão um indicativo sobre a capacidade de infiltração de água. Em geral, classificam-se os solos em quatro grupos: A, B, C e D, onde o grupo A seriam os solos mais suscetíveis a infiltração, decrescendo à medida que desloca até o grupo D, em ordem alfabética, enquadrando no grupo D os solos de baixa permeabilidade. Para a determinação dos grupos hidrológicos, existe a própria NRCS (2009), que propôs a classificação do solo com base em

características granulométricas e taxa de infiltração. No Brasil, Lombardi Neto et al. (1989) apud Sartori (2005) propõe uma classificação dos grupos de forma mais prática e que buscam tratar a realidade brasileira na classificação.

Assim, objetiva-se neste trabalho realizar uma estimativa do potencial de acumulação de água dos solos (S) para o estado de Pernambuco, com a finalidade de se tornar uma ferramenta de aplicação em projetos hídricos e hidrológicos bem como dar base para outros modelos hidrológicos, contribuindo para um melhor planejamento do uso dos recursos hídricos no estado.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Aplicar o Método da Curva Número do SCS para determinar o potencial de acumulação de água dos solos do estado de Pernambuco com objetivo de fornecer um produto que possa dar suporte a projetos e modelos hidrológicos.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Obter a classificação hidrológica dos solos do estado de Pernambuco;
- Gerar subsídios para determinar o valor da curva número nas bacias hidrográficas de Pernambuco a fim de obter o potencial de acumulação (S);
- Fornecer um mapa georreferenciado completo do estado, com o grupo hidrológico, a curva número e o potencial de acumulação dos solos, tornando-o um subsidio para a aplicação em projetos hidrológicos em conjunto com outros modelos hidrológicos;
- Elaborar um plugin que sistematize a obtenção do potencial de acumulação de água (S) para bacias do estado de Pernambuco.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção busca-se explicar todo conceito que será abordado ao longo do trabalho, sendo essencial para uma boa compreensão da metodologia aplicada. Os conceitos abordados variam desde a hidrologia de escoamento superficial e subterrâneo até a metodologia de estudo do escoamento por meio do método da curva número do Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos.

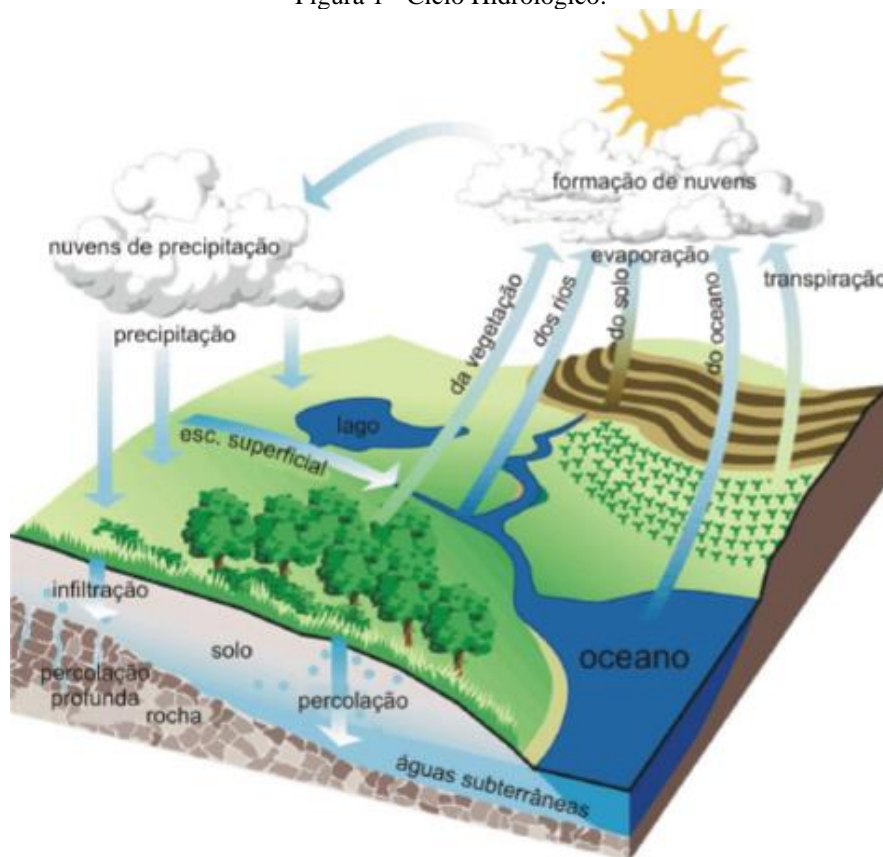
#### 3.1 Ciclo Hidrológico

A água no planeta Terra é um bem que está em constante movimento, constituindo o ciclo hidrológico. Água permeia os diversos reservatórios que constituem aproximadamente 1386 milhões de km<sup>3</sup>. Porém, ao longo dos anos, varia-se o quanto está armazenado em cada reservatório, constituindo os oceanos, rios, águas subterrâneas, águas na atmosfera, etc. (PAZ, 2004). A Figura 1 representa o ciclo hidrológico e sua movimentação entre os diversos tipos de reservatórios.

O ciclo inicia-se com o vapor de água existente na atmosfera, que se condensa sob condições meteorológicas favoráveis e transformam-se em micro gotículas que se agrupam em conjunto com poeira ou gelo, constituindo as nuvens ou nevoeiros. Através da dinâmica das massas de ar ocorre a precipitação, que para seu início necessita que ocorra uma aglutinação crescente das micro gotículas, nas nuvens com uma elevada concentração de umidade, onde seu peso torna-se suficiente para superar as forças ascendentes atmosféricas, ocorrendo a queda livre da água, seja na forma líquida, como chuva, ou forma congelada, como neve ou granizo (TUCCI, 2002).

Durante o percurso da água da atmosfera para a superfície, parte dessa água não atinge o solo, decorrente da evaporação durante a precipitação ou devido a parcela que fica retida na vegetação, sendo esta última chamada de interceptação. Parte da água interceptada pode retornar para o solo através da ação dos ventos (PINTO et al., 1976).

Figura 1 - Ciclo Hidrológico.



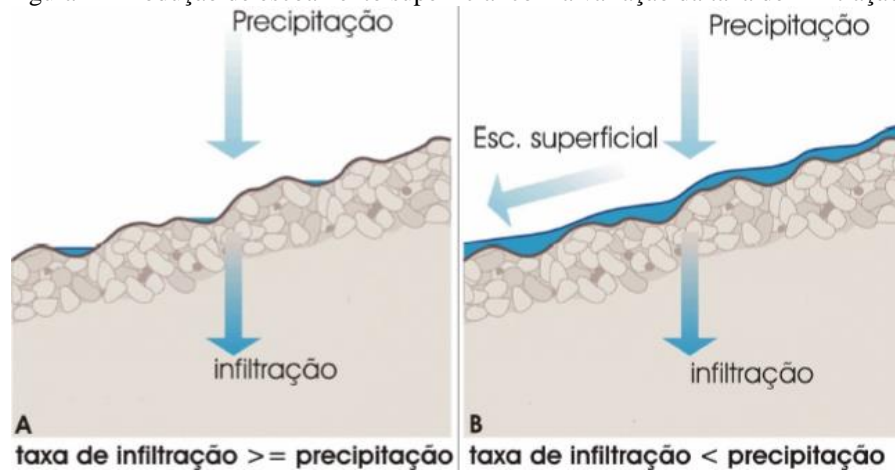
Fonte: PAZ (2004).

O restante da água atinge o solo, seja pela saturação do montante de água que atinge a vegetação e que começa a escoar para o solo ou a parcela da água que o atinge diretamente. No solo a continuação do ciclo dá-se pela infiltração da água, sem gerar escoamento superficial, até que haja a saturação da camada mais superficial. À medida que as camadas do solo começam a saturar, a taxa de infiltração começa a reduzir e o restante da água que não infiltra começa a escoar na superfície do solo. Parte da água que infiltra é absorvida pelas raízes da vegetação na qual evapora através da transpiração, ou seja, pela evapotranspiração. O restante que não é absorvido pelas plantas escoar nas camadas inferiores de solos formando os lençóis freáticos, que contribuem para manter o escoamento dos rios (TUCCI, 2002).

Ainda segundo Tucci (2002), o escoamento superficial depende da dinâmica dos solos, ditando a direção do escoamento de locais com maiores cotas para locais de menores cotas. No início, a água escoar em pequenos filetes, porém, à medida que aumenta a área de contribuição, a água começa a formar filetes mais espessos a moldar o solo através da erosão formando a micro rede de drenagem. No fim, contribuem para cursos de água mais estáveis, denominado de rios. O destino final da água de escoamento é o oceano.

De acordo com Pinto et al. (1976), de imediato ocorre o preenchimento das depressões do terreno e somente em seguida inicia-se o escoamento superficial (Figura 2).

Figura 2 - Produção de escoamento superficial com a variação da taxa de infiltração.



Fonte: PAZ (2004).

Para finalizar o ciclo, ocorre a evaporação da água decorrente da energia do sol ou fontes diversas, retornando ao estado gasoso, sendo esta etapa a responsável por manter o equilíbrio do ciclo (PINTO et al., 1976). Cerca de 70% da água na atmosfera é decorrente da evaporação da água do mar, porém, é dada maior atenção às águas doces do continente, devido a uma maior preocupação com os diversos usos para o homem, bem como sua maior escassez, onde torna-se importante uma análise mais detalhada (TUCCI, 2002).

### 3.1.1 Escoamento superficial

Quando se trata do escoamento superficial, existem algumas grandezas que são importantes para seu estudo. A bacia hidrográfica e a área de drenagem onde toda a água escoada superficialmente atinge determinada seção do curso do rio. A vazão é o volume por unidade de tempo escoada em uma determinada seção do rio (PINTO et al., 1976).

Ao longo do ciclo hidrológico existem alguns tipos de escoamento, como o superficial, infiltração e subterrâneo. Dentre estes, o escoamento superficial é o mais importante, pois trata-se do transporte da água na superfície onde se envolvem diversos fenômenos e com o qual está diretamente ligado o aproveitamento da água (CARVALHO; SILVA, 2006).

O escoamento superficial é influenciado tanto por características climáticas como físicas da bacia. Tucci (2002) indica que os seguintes fatores influenciam o escoamento superficial:

**Relevo:** Bacias com alta drenagem e declividade apresentam maiores picos de vazão e menor escoamento de base (subterrâneo).

**Cobertura da bacia:** A cobertura vegetal influencia o escoamento superficial através da interceptação de parte do volume precipitado, resultando na evapotranspiração.

**Modificações artificiais no rio:** Modificações como reservatórios de regularização ou canalizações tendem a alterar o pico de vazão do curso de água, possuindo valor menor e maior respectivamente.

**Distribuição, duração e intensidade da precipitação:** A distribuição e duração influenciam o tempo em que a bacia irá obter picos de vazão, podendo atingir mais de um pico dependendo da distribuição da precipitação na bacia. A intensidade influencia no valor do pico da vazão escoada e em conjunto com a duração e distribuição podem ser responsáveis por enchentes em algumas bacias hidrográficas.

**Solo:** A umidade do solo é um fator de grande influência no escoamento superficial. Se a condição de umidade do solo e cobertura vegetal forem baixas, a tendência é que, para uma mesma precipitação ocorra um menor escoamento superficial, devido a uma maior taxa de infiltração da água no solo.

### 3.1.2 Infiltração e escoamento subterrâneo

A infiltração pode ser definida como o processo de passagem da água da superfície terrestre para as camadas inferiores do solo, por meio da ação da gravidade e de capilaridade do solo. Em parte, depende da característica do subsolo e da cobertura superficial do terreno (PINTO et al., 1976).

Na parte subterrânea podem ser considerados dois tipos de regiões, a zona aerada e zona saturada. A primeira zona se mantém parcialmente ou não preenchidas por água, sendo uma camada mais superficial que está sujeita à evaporação e absorção pelas raízes das plantas. Já a segunda camada é totalmente preenchida por água, constituindo as chamadas águas subterrâneas, formando os aquíferos ou lençóis freáticos. Podem ocorrer trocas entre as duas camadas por infiltração e pelo efeito de capilaridade (PINTO et al., 1976; PAZ, 2004).

Segundo Villela e Mattos (1975) os seguintes fatores influenciam na infiltração no solo:

- Umidade do solo;
- Permeabilidade do solo;

- Temperatura do solo;
- Profundidade do extrato impermeável.

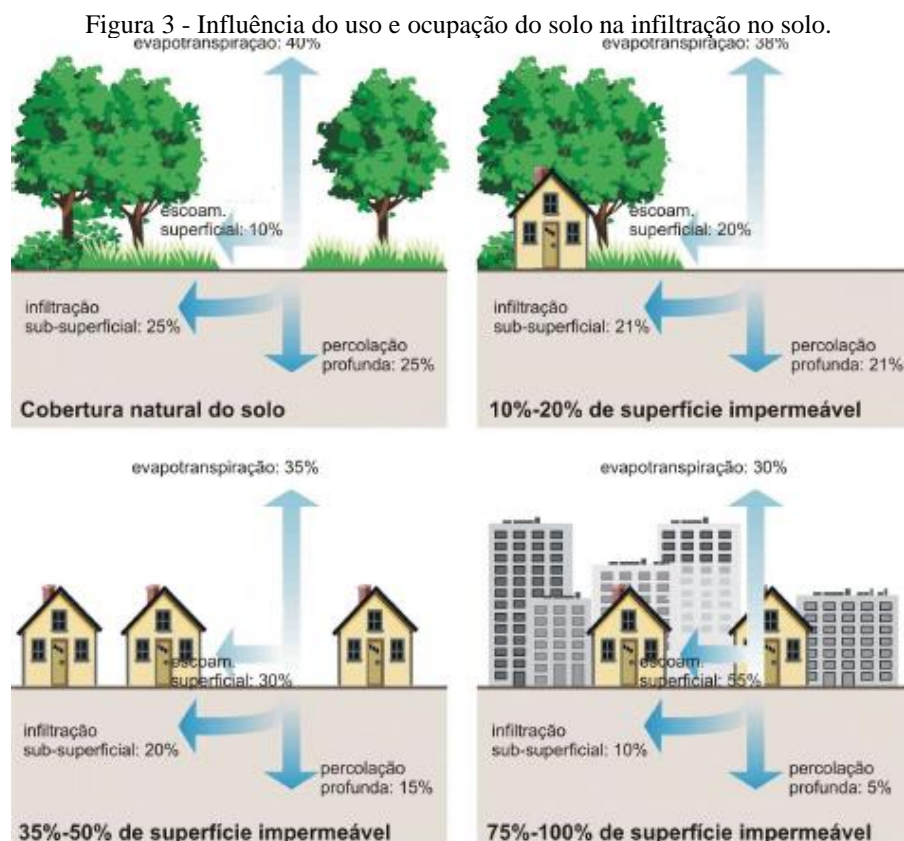
A umidade do solo influencia na capacidade de infiltração, visto que os solos mais secos possuem maior capacidade de receber água em comparação com solos mais úmidos (VILLELA; MATTOS, 1975). A capacidade de infiltração também é influenciada pela profundidade e temperatura da água, pois, a temperatura diminui a viscosidade da água que contribui na infiltração.

Quanto a permeabilidade, está é influenciada pela cobertura vegetal, compactação e granulometria do solo, sendo o principal fator a capacidade de infiltração (VILLELA; MATTOS, 1975). A cobertura vegetal interfere na infiltração devido obstrução das raízes da planta ao escoamento superficial e ao fenômeno de absorção de água pelas raízes. Portanto, quanto mais densa ela for maior a infiltração da água. (PAZ, 2004).

Vale salientar que o uso e ocupação do solo é um interveniente no escoamento e infiltração da água, visto que o aumento de zonas impermeáveis favorece o escoamento superficial, enquanto que em zonas com uma maior densidade de vegetação, diminui o escoamento superficial e aumenta a infiltração (Figura 3).

Outro parâmetro que interfere no escoamento subterrâneo é a presença de argila com atividade alta. Segundo Araújo Filho (2000) a presença de argila com atividade alta influencia a expansividade do solo quando molhado, alterando o regime de escoamento e macro porosidade do solo. Quando secos estes solos apresentam maior capacidade de drenagem devido à redução de volume e formação de fendas. Quando molhados a argila se expande, provocando a diminuição da porosidade e taxa de infiltração.

Assim é possível perceber que a capacidade de infiltração varia espacialmente e com o tempo, pois ocorrem variações do solo no espaço e de suas características, mudando de região para região, havendo também mudanças periódicas no uso e ocupação do solo.



Fonte: PAZ (2004) adaptado de EPA (1998).

### 3.2 Modelos Hidrológicos

A modelagem hidrológica é uma etapa muito importante no estudo de bacias hidrográficas, onde busca simular os processos que coordenam o movimento da água, de tal forma que se possa perceber os possíveis impactos do uso do solo. Existe uma grande variedade de tipos de modelos, sendo a escolha e aplicação sujeita à quantidade e qualidade de dados de entradas disponíveis e à complexidade dos modelos. Muitas vezes são aplicados modelos mais simples devido a necessidade de se obter dados a curto prazo (GÓES, 2009).

Segundo Tucci (2005), os modelos em geral podem ser definidos como a simulação de um sistema através de equações matemáticas que representam o comportamento de uma estrutura real ou abstrata que se relaciona com algum dado de entrada, gerando um dado de saída, que seria o resultado.

De forma geral, busca-se com os modelos hidrológicos uma representação simplificada dos diversos fenômenos que ocorrem na bacia hidrográfica, que compreendem as diversas etapas do ciclo hidrológico, buscando assim dados relevantes e com aplicação plausível no estudo da hidrologia da bacia hidrográfica.

Alguns modelos hidrológicos buscam determinar a vazão em um exutório da bacia em resposta a uma precipitação conhecida. Daí passam a ser chamados de modelos chuva-vazão (MOREIRA, 2005).

Os modelos hidrológicos apresentam diversas aplicações. Segundo Lou (2010), os principais usos dos modelos hidrológicos compreendem:

- Entendimento do comportamento dos fenômenos hidrológicos no exutório;
- Preenchimento de falhas e análise de consistência;
- Previsão de vazão;
- Dimensionamento e previsão de cenários de planejamento;
- Efeitos resultantes da modificação do uso do solo.

O entendimento do comportamento da bacia é fundamental para um melhor detalhamento do modelo, sendo importante para analisar a sensibilidade da bacia sob diversos fenômenos. Os modelos hidrológicos também são fundamentais para estimativa de dados, seja para preenchimento de falhas ou previsões e, portanto, muito utilizado em diversos tipos de projetos como uma ferramenta para análise de cenários e alternativas. A análise de escoamento superficial e infiltração no solo resultante do seu uso e ocupação é um processo bastante complexo e de difícil análise devido ao fato de que a maioria dos métodos hidrológicos terem como parâmetros as características físicas da bacia (LOU, 2010).

Almeida e Serra (2017), comentam que os modelos hidrológicos têm sido bastante úteis para prever eventos danosos, sendo uma ferramenta bastante importante para tomada de decisões em políticas públicas além de lidar com problemas ambientais e seus possíveis impactos.

Existem diversos modelos hidrológicos com diferentes formas e graus de complexidade, levando à classificação dos mesmos. Segundo Góes (2009), os modelos podem ser classificados quanto:

- Grau de determinação: Estocástico ou Determinístico;
- Representação do processo: Empírico ou Conceitual;
- Escalas espaciais: Concentrados ou distribuídos;
- Escalas Temporais: Contínuos ou baseados em eventos.

Góes (2009) escreve que um modelo é estocástico quando em pelo menos uma das variáveis do problema ocorre o comportamento aleatório, levando em consideração a chance



de ocorrência da variável. No caso contrário, em que as variáveis não dependem da probabilidade, são chamados de modelos determinísticos. Mesmo que a variável de entrada possua característica aleatória, mas apresente uma única saída, o modelo ainda é denominado de modelo determinístico (MOREIRA, 2005).

Os modelos empíricos são os modelos que se baseiam na experiência e conhecimento sobre os fenômenos com base na observação. Em geral os empíricos são baseados em regressões e por esse motivo não são tão robustos, sendo bastante específicos para a área de aplicação e com bastante dificuldade de mudanças para variáveis não previstas no modelo. Os modelos conceituais buscam descrever todos os processos físicos e por esse motivo apresentam a característica de serem mais complexos, porém, mais precisos (GÓES, 2009; MOREIRA, 2005).

Nos modelos concentrados a bacia é representada de forma única através das condições médias dos parâmetros para a bacia, não sendo possível a distribuição das características físicas como o solo ou seu uso (ALMEIDA; SERRA, 2017). Os modelos distribuídos consideram a variabilidades dos parâmetros na bacia, buscando discretizar a bacia em elementos que são conectados entre si através de mecanismos do modelo. Os modelos eventuais são aplicados em apenas um único evento de chuva, enquanto os contínuos permitem a aplicação em uma sequência de eventos durante longos períodos de tempo (GÓES, 2009).

Um modelo que tem grande popularidade decorre do método chuva-vazão do SCS devido sua simplicidade de aplicação. É um modelo concentrado que tem como base as características do solo e sua cobertura para a estimativa de escoamento superficial e do potencial de acumulação de água.

### **3.3 Modelo chuva-vazão do serviço de conservação de solos dos Estados Unidos (SCS)**

#### **3.3.1 Descrição do modelo**

O método da curva número foi desenvolvido em 1954 pelo Serviço de Conservação dos Solos (SCS) dos Estados Unidos, atual Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS), com a finalidade de estimar o escoamento superficial para bacias hidrográficas em áreas rurais. A partir de então, o método se difundiu no ramo da hidrologia, sendo aplicado também em áreas urbanas e em diversos outros países do globo (SARTORI, 2004).

Segundo Ponce e Hawkins (1996), a popularidade do modelo da curva número na engenharia hidrológica é devida à sua simplicidade e capacidade de resposta com uso de 4

informações importantes: tipo de solo, uso e condições desse solo, condição da superfície e condição de umidade antecedente. A aplicação do modelo vem crescendo continuamente no Brasil a exemplo de Sartori (2004), Sartori (2010), Araújo Neto et al. (2012), Cazalvara (2015), Alves (2016) e Soares et al. (2017).

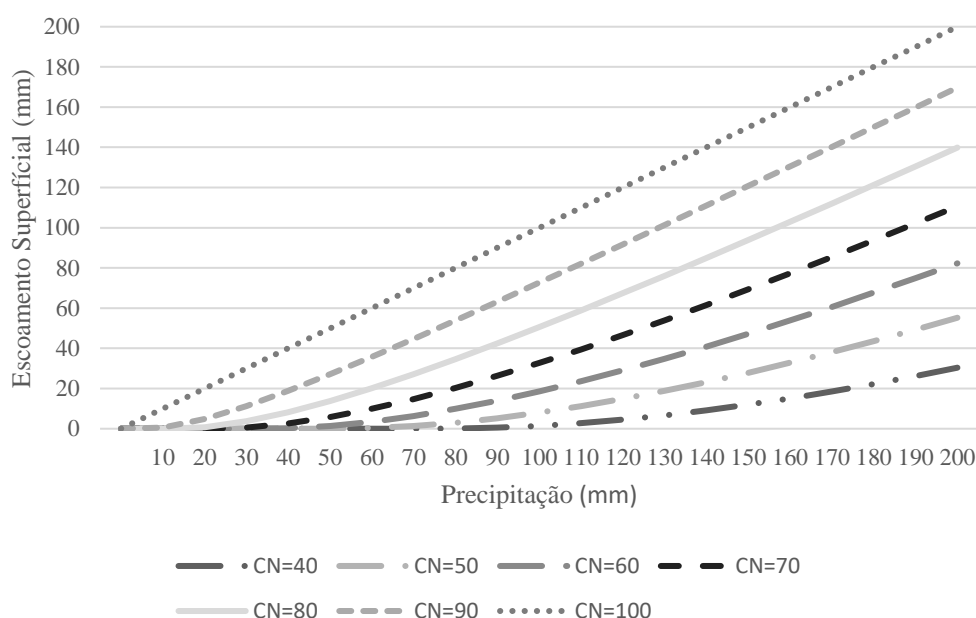
O precursor do método foi Victor Mockus, que descreveu um padrão na curva precipitação x escoamento superficial através de um gráfico em que para baixas precipitações não havia escoamento, sendo o padrão descrito pela Equação 1. Na medida que a chuva aumentava a curva se tornava assintótica a uma linha paralela à reta precipitação igual a escoamento superficial, conforme Figura 4 (HOEFT, 2016).

$$Q = \frac{(P-I_a)^2}{(P-I_a)+S} \quad \text{Para } P > I_a \quad (1)$$

$$Q = 0 \quad \text{Para } P \leq I_a$$

Onde: Q é o escoamento superficial, P a precipitação total,  $I_a$  a abstração inicial e S o potencial de acumulação máximo de água no solo.

Figura 4 - Gráfico relacionando escoamento superficial com a precipitação para diferentes valores de curva número ( $I_a=0,2S$ ).



Fonte: O autor (2019).

A abstração inicial é um parâmetro que representa o quanto foi interceptado, infiltrado e retido superficialmente durante o período inicial da chuva. Sua determinação é feita por meio de eventos chuvosos na bacia hidrográfica com medição de quanto choveu antes de iniciar o

escoamento. Porém, seu valor é de difícil determinação, principalmente devido ao fato de que a infiltração possui grande variabilidade durante o período da chuva e por depender de alguns fatores, como intensidade da chuva e umidade antecedente. Assim, assumiu-se que o valor da abstração seria de 20% do valor da máxima retenção potencial (S) (NRCS, 2004b). Assim, a Equação 1 passa a ser descrita conforme a Equação 2.

$$Q = \frac{(P-0,2S)^2}{P+0,8S} \text{ Para } P > 0,2S \quad (2)$$

Pela equação anterior, fica claro que a única variável desconhecida a ser determinada é o Potencial de acumulação dos solos (S). Com o objetivo de uma aplicação mais prática da Equação 2, foi elaborado pelo SCS o parâmetro da curva número (CN), conforme Equação 3 para o valor do S em mm. Esse parâmetro é adimensional e é determinado com base no grupo hidrológico do solo e o uso e ocupação do mesmo. O CN varia de 0 a 100 (SARTORI, 2004).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

Para CN com valor de 100 tem-se a situação em que o escoamento superficial é máximo, visto que o parâmetro S se torna zero. Quando o CN tende ao valor 0, tem-se a situação em que o S tenderia ao infinito, indicando uma situação que não haveria escoamento superficial. Relacionando a equação 2 com a equação 3, obtém-se as curvas representadas pela Figura 4. Os valores de CN são tabelados em função do grupo hidrológico e do uso do solo.

O CN representa a média das curvas de escoamento superficial, também denominado de escoamento médio potencial. Porém, o que foi detectado com dados observados é que há uma certa variabilidade de pontos medidos em relação à curva média, sendo a umidade antecedente o parâmetro que representa esta variação. Existem 3 condições de umidades diferentes definidas pelo SCS: AMC I que seria a condição do solo das bacias secas com menor potencial de escoamento, AMC II que seria a condição de umidade próximo da de campo, representando os valores das tabelas do SCS e AMC III seria a condição com o solo próximo da saturação, com o maior escoamento superficial (PONCE; HAWKINS, 1996).

### 3.3.2 Classificação Hidrológica do solo

De início, o grupo hidrológico foi atribuído aos solos através de medições de escoamento superficial e medições da infiltração com infiltrômetros. Porém, buscando uma classificação mais prática baseada em julgamento de especialistas do solo, buscou-se identificar os grupos por meio de comparação de características dos perfis de solo com os solos já classificados. A classificação do solo é realizada com a premissa de que os solos encontrados em locais com característica climáticas semelhantes e com características de solo semelhante, como textura e profundidade a uma camada impermeável, irão possuir o mesmo escoamento superficial (NRCS, 2009).

Segundo a NRCS (2009), os solos podem ser classificados da seguinte forma:

**Grupo A:** Solos com baixo potencial de escoamento superficial quando saturados, possuindo textura predominantemente arenosa, 90% de cascalho ou areia, e percentual muito baixo de argila, cerca de 10%. Solos com maior teor de finos podem ser incluídos neste grupo desde que estejam bem agregados, com baixa densidade aparente e com mais de 35% de fragmentos de rocha.

**Grupo B:** Solos com potencial de escoamento moderado baixo quando saturados, com textura entre 10% a 20% de argila e de 50% a 90% de areia, com textura predominantemente média. Solos com maior teor de finos podem ser incluídos neste grupo desde que estejam bem agregados, com baixa densidade aparente e com mais de 35% de fragmentos de rocha.

**Grupo C:** Possuem potencial de escoamento moderadamente alto quando saturados, sendo a infiltração no solo limitada. A composição do solo varia de 20% a 40% de argila e menos de 50% de areia, caracterizando solos com textura argilosa.

**Grupo D:** São solos com alto potencial de escoamento quando saturados sendo a infiltração no solo muito limitada. Os solos normalmente possuem teor de argila superior a 40%, menos de 50% de areia e textura muito argilosa e com alto potencial de expansão. Solos com profundidade até a camada impermeável inferior a 50 cm e solos com lençol freático a 60cm da superfície se enquadram nesse grupo.

Em um estudo de Lombardi Neto et al. (1989), citado por Sartori (2004), buscou-se trazer para a realidade do Brasil a classificação hidrologia dos solos, pois o país carece de dados sobre a taxa de infiltração. O autor estabeleceu em seu estudo dos solos de São Paulo quatro

grupamentos para os solos com base na sua qualidade e características físicas. Os grupos definidos por Lombardi Neto et al. (1989) segundo Sartori (2004) foram os seguintes:

**Grupo A:** Solos com alta taxa de infiltração, mesmo quando saturados, e com grande resistência a erosão. São solos normalmente profundos e muito profundos, com alta macroporosidade quando os solos possuem textura média, argilosa ou muito argilosa, resultado em solos bem drenados a excessivamente drenados.

**Grupo B:** Solos com moderada taxa de infiltração, mesmo quando saturados ou com alta taxa de infiltração, mas com moderada resistência a erosão. Geralmente são profundos.

**Grupo C:** Solos com baixa taxa de infiltração mesmo quando saturados e com baixa resistência a erosão. São profundos ou moderadamente profundos, com mudança textural abrupta.

**Grupo D:** Solos com taxa de infiltração muito baixa, mesmo quando saturados, e muito baixa resistência a erosão. São rasos com mudança textural abrupta em conjunto com argila de alta atividade ou camada de impedimento de infiltração de água.

Sartori (2005), propôs em seu estudo, com base nos grupos hidrológicos de Lombardi Neto, uma classificação para os solos do Brasil, representado no Quadro 1. Sua aplicação é facilitada porque os dados necessários são relativamente simples de ser obtidos em comparação ao método original do SCS, que necessita do valor da infiltração do solo para classificação hidrológica.

Quadro 1 - Classificação Hidrológica dos solos para as condições brasileiras.

<b>Grupo Hidrológico A</b>
<p>Solos muito profundos (prof. &gt; 200 cm) ou profundos (100 a 200 cm);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância à erosão;</li> <li>- Solos porosos com baixo gradiente textural (&lt;1,20);</li> <li>- Solos de textura média;</li> <li>- Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo perfil;</li> <li>- Solos bem drenados ou excessivamente drenados;</li> <li>- Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1;</li> <li>- A textura dos horizontes superficial e subsuperficial podem ser: média/média, argilosa/argilosa e muito argilosa/muito argilosa.</li> </ul> <p>Enquadram-se neste grupo:</p> <p>LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO, ambos com textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade.</p> <p>LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos com textura média, mas com horizonte superficial não arenoso.</p>

Continua

Quadro 1 - Classificação Hidrológica dos solos para as condições brasileiras.

<b>Grupo Hidrológico B</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solos profundos (100 a 200 cm);</li> <li>- Solos com moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância a erosão;</li> <li>- Solos porosos com gradiente textural variando entre 1,20 e 1,50;</li> <li>- Solos com textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione boa macroporosidade em todo perfil;</li> <li>- Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1;</li> <li>- A textura dos horizontes superficial ou subsuperficial podem ser: arenosa/arenosa, arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa e argilosa/muito argilosa.</li> </ul> <p>Enquadram-se neste grupo:  <b>AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO</b>, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; <b>LATOSSOLO BRUNO</b>; <b>NITOSSO VERMELHO</b>; <b>NEOSSOLO QUARTIZARÊNICO</b>; <b>ARGISSOLO VERMELHO OU VERMELHO AMARELO</b> de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.</p>
<b>Grupo Hidrológico C</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solos profundos (100 a 200 cm) ou pouco profundos (50 a 100 cm);</li> <li>- Solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão;</li> <li>- São solos com gradiente textural maior que 1,50 e comumente apresentam mudança textural abrupta;</li> <li>- Solos associados à argila de atividade baixa (Tb);</li> <li>- A textura nos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa/média e média/argilosa apresentando mudança textural abrupta, arenosa/argilosa e arenosa/muito argilosa.</li> </ul> <p>Enquadram-se neste grupo:  <b>ARGISSOLO</b> pouco profundo, mas não apresentando mudança textural abrupta ou <b>ARGISSOLO VERMELHO</b>, <b>ARGISSOLO VERMELHO AMARELO</b> E <b>ARGISSOLO AMARELO</b>, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta; <b>CAMBISSOLO</b> de textura média e <b>CAMBISSOLO HÚMICO</b>, mas com características físicas semelhantes aos <b>LATOSSOLOS</b> (latossólico); <b>ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO</b>; <b>NEOSSOLO FLÚVICO</b>.</p>
<b>Grupo Hidrológico D</b>
<p>Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância a erosão;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Solos rasos (prof. &lt; 50 cm);</li> <li>- Solos pouco profundos, associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade (Ta), minerais de argila 2:1;</li> <li>- Solos argilosos associados à argila de atividade alta (Ta);</li> <li>- Solos orgânicos.</li> </ul> <p>Enquadram-se neste grupo:  <b>NEOSSOLO LITÓLICO</b>; <b>ORGANOSSOLO</b>; <b>GLEISSOLO</b>; <b>CHERNOSSOLO</b>; <b>PLANOSSOLO</b>; <b>VERTISSOLO</b>; <b>ALISSOLO</b>; <b>LUVISSOLO</b>; <b>PLITOSSOLO</b>; <b>SOLOS DE MANGUE</b>; <b>AFLORENTOS DE ROCHA</b>; demais <b>CAMBISSOLOS</b> que não se enquadram no grupo C; <b>CAMBISSOLO</b>; <b>ARGISSOLO VERMELHO AMARELO</b> E <b>ARGISSOLO AMARELO</b>, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.</p>

Fonte: Adaptado de Sartori et al. (2005).

### 3.3.3 Determinação do valor do CN

O valor do CN é determinado por meio da combinação do grupo hidrológico do solo, uso do solo e tratamento da superfície. A NRCS determinou valores tabelados para o CN para cada combinação de grupo hidrológico e uso do solo, listados com dados da literatura para diferentes bacias hidrográficas, sendo calculado com base no AMCII, obtido para condições médias (NRCS, 2004a).

graujo Neto et al. (2012) bvgcou o método da curva número em três microbacias experimentais no município de Iguatu no estado do Ceará, região semiárida, com finalidade de realizar a comparação de valores de CN comumente aplicados na literatura com valores validados com dados de campo, apresentando resultados bastante coerentes com os valores tabelados. Nas Tabelas 1, 2, 3, 4 e 5, podem ser visualizados os valores do CN determinado pela NRCS (2004a) e na Tabela 6 determinado por Tucci (2002), para diferentes usos e ocupação do solo.

Sartori (2004) em seu trabalho determinou equações entre os CN nas diferentes condições de umidade, baseado nas correlações de Hawkins et al. (1985), em que  $S_I/S=2,281$  e  $S_{III}/S=0,427$ , resultando nas Equações 4 e 5.

$$CN_I = \frac{CN}{2,281 - 0,01281 * CN} \quad (4)$$

$$CN_{III} = \frac{CN}{0,247 + 0,00573 * CN} \quad (5)$$

Onde CN é o valor da curva número no AMC II,  $CN_I$  é o valor da curva número no AMC I e  $CN_{III}$  é o valor da curva número no AMC III.

Tabela 1 - CN para terras áridas e semiáridas<sup>1</sup>.

Descrição da cobertura		CN do Grupo hidrológico			
Tipo de cobertura	Condição hidrológica <sup>2</sup>	A <sup>3</sup>	B	C	D
Herbáceos - mistura de grama, ervas e jovens arbustos, sendo estes em menor quantidade.	Deficiente		80	87	93
	Regular		71	81	89
	Boa		62	74	85
Carvalho-choupo - mistura de arbustos de montanha tal como carvalho, choupo, mogno, bordo e outros arbustos.	Deficiente		66	74	79
	Regular		48	57	63
	Boa		30	41	48
Pinus-junípero - pinus, junípero ou ambos; gramíneas na superfície do solo abaixo do dossel	Deficiente		75	85	89
	Regular		58	73	80
	Boa		41	61	71

Continua

Tabela 1 – CN para terras áridas e semiáridas<sup>1</sup>.

Descrição da cobertura		CN do Grupo hidrológico			
Tipo de cobertura	Condição hidrológica <sup>2</sup>	A <sup>3</sup>	B	C	D
Sálvia-grama - sálvia com gramíneas abaixo do dossel	Deficiente	67	80	85	
	Regular	51	63	70	
	Boa	35	47	55	
Arbustos do deserto	Deficiente	63	77	85	88
	Regular	55	72	81	86
	Boa	49	68	79	84

<sup>1</sup> Condição média de escoamento e  $I_a=0,2*S$ .

<sup>2</sup> Deficiente: <30% da superfície do solo está coberta (liteira, gramíneas e arbustos sobre dosséis).

Regular: 30 a 70% da superfície do solo está coberta.

Boa: >70% da superfície do solo está coberta.

<sup>4</sup> CNs para o grupo A foram desenvolvidos apenas para arbusto do deserto.

Fonte: Adaptado de NRCS (2004a) apud Sartori (2010).

Tabela 2 - CN para Terras agrícolas<sup>1</sup>.

Descrição da cobertura			Grupo hidrológico			
Tipo de cobertura	Tratamento <sup>2</sup>	Condição hidrológica <sup>3</sup>	A	B	C	D
Sem cultivo	Solo nu	-----	77	86	91	94
	Cobertura com resíduo de cultura (CR)	Deficiente	76	85	90	93
Cultivo em linhas	Plantio em linha reta (SR)	Deficiente	72	81	88	91
	Plantio em linha reta (SR)	Boa	67	78	85	89
	SR+CR	Deficiente	71	80	87	90
		Boa	64	75	82	85
	Contorno (C)	Deficiente	70	79	84	88
		Boa	65	75	82	86
	C+CR	Deficiente	69	78	83	87
		Boa	64	74	81	85
	Contorno com terraceamento (C&T)	Deficiente	66	74	80	82
		Boa	62	71	78	81
	C&T+CR	Deficiente	65	73	79	81
		Boa	61	70	77	80
	Plantio em linha reta (SR)	Deficiente	65	76	84	88
		Boa	63	75	83	87
Pequeno Grão	SR+CR	Deficiente	64	75	83	86
		Boa	60	72	80	84
	Contorno (C)	Deficiente	63	74	82	85
		Boa	61	73	81	84
	C+CR	Deficiente	62	73	81	84
		Boa	60	72	80	83
	Contorno com terraceamento (C&T)	Deficiente	61	72	79	82
		Boa	59	70	78	81
	C&T+CR	Deficiente	60	71	78	81
		Boa	58	69	77	80

Continua



Tabela 2 – CN para terras agrícolas<sup>1</sup>.

Descrição da cobertura			Grupo hidrológico			
Tipo de cobertura	Tratamento <sup>2</sup>	Condição hidrológica <sup>3</sup>	A	B	C	D
Semeadura densa ou semeadura de culturas rotativas	SR	Deficiente	66	77	85	89
		Boa	58	72	81	85
	C	Deficiente	64	75	83	85
		Boa	55	69	78	83
	C&T	Deficiente	63	73	80	83
		Boa	51	67	76	80

1 Condição média de escoamento e  $I_a=0,2*S$ .

2 A cobertura com resíduos de culturas é somente aplicada em casos que cubram pelo menos 5% da superfície.

3 A condição hidrológica é baseada em combinações de fatores que afetam a infiltração e o escoamento, incluindo (a) densidade de copa da vegetação (b) quantidade de cobertura durante todo o ano, (c) quantidade de gramíneas ou leguminosas, (d) porcentagem de cobertura de resíduos na superfície e (e) grau de resistência superficial.

Deficiente: os fatores impedem a infiltração e tendem a aumentar o escoamento.

Bom: Fatores encorajam infiltração média e melhor que a média e tendem a diminuir o escoamento.

Fonte: Adaptado de NRCS (2004a) apud Sartori (2010).

Tabela 3 - CN para outros usos agrícolas<sup>1</sup>.

Descrição da cobertura		CN do Grupo hidrológico			
Tipo de cobertura	Condição hidrológica <sup>2</sup>	A	B	C	D
<b>Pastagem</b> com forragem contínua para pastoreio <sup>3</sup>	Deficiente	68	79	86	89
<b>Pastagem</b> com forragem contínua para pastoreio <sup>3</sup>	Regular	49	69	79	84
<b>Prados</b> (grama contínua, protegida do pastoreio e geralmente ceifada para feno)	-	30	58	71	78
<b>Capoeira</b> (mistura de arbusto, gramíneas, e herbáceas florescentes, sendo arbustos em maior quantidade) <sup>4</sup>	Deficiente	48	67	77	83
	Regular	35	56	70	77
	Boa	30 <sup>5</sup>	48	65	73
<b>Combinação de bosques (palmares ou arvoredos) e gramíneas</b> <sup>6</sup>	Deficiente	57	73	82	86
	Regular	43	65	76	82
	Boa	32	58	72	79
<b>Bosques</b> (pequenos aglomerados de árvores dispostas proximamente entre si.) <sup>7</sup>	Deficiente	45	66	77	83
	Regular	36	60	73	79
	Boa	30	55	70	77
<b>Sede de fazendas</b> - construções, caminhos pavimentados, entrada para carros e lotes adjacentes	-	59	74	82	86
<b>Estradas de terra</b> (incluindo faixa de domínio)	-	72	82	87	89

Continua

Tabela 3 – CN para outros usos agrícolas<sup>1</sup>.

Descrição da cobertura		CN do Grupo hidrológico			
Tipo de cobertura	Condição hidrológica <sup>2</sup>	A	B	C	D
<b>Estradas pedregulhadas</b> (incluindo faixa de domínio)	-	76	85	89	91
<sup>1</sup>	Condição média de escoamento e $I_a=0,2*S$ .				
<sup>2</sup>	A condição Hidrológica:				
<sup>3</sup>	Deficiente: <50% da superfície está coberta ou muito pastoreada sem vegetação em decomposição. Regular: 50 a 75% das superfícies está coberta ou muito pastoreada. Boa: >75% da superfície está coberta ou ocasionalmente pastoreada.				
<sup>4</sup>	Deficiente: <50% da superfície está coberta. Regular: 50 a 75% da superfície está coberta. Boa: >75% da superfície está coberta.				
<sup>7</sup>	Deficiente: Liteira, pequenas arvores, e arbustos são destruídos pelo pastoreio intensivo ou pelas queimadas regulares. Regular: Os bosques são pastoreados, mas não queimados, e alguma liteira cobre o solo. Boa: Os bosques são protegidos do pastoreio, e a liteira e os arbustos cobrem adequadamente o solo.				
<sup>5</sup>	Se o verdadeiro CN for menor que 30, use 30 para estimativa do escoamento.				
<sup>6</sup>	Os CNs apresentados foram estimados para áreas com 50% de bosques e 50% de gramíneas (pastagem). Outras combinações podem ser estimadas a partir dos CNs para bosques e pastagens.				

Fonte: Adaptado de NRCS (2004a) apud Sartori (2010).

Tabela 4 - CN para áreas urbanas<sup>1</sup>.

Descrição da cobertura	Porcentagem média da área impermeável <sup>2</sup>	CN para o grupo			
		A	B	C	D
Tipo de cobertura e descrição hidrológica					
Áreas urbanas desenvolvidas (vegetação existente):					
Espaço aberto (gramados, parques, campos de golfe, cemitérios, etc.) <sup>3</sup>					
Condição deficiente (cobertura com grama < 50%)		68	79	86	89
Condição regular (cobertura com grama 50 a 75%)		49	69	79	84
Condição boa (cobertura com grama > 75%)		39	61	74	80
Áreas Impermeáveis:					
Estacionamentos pavimentados, telhados, entrada para carros em moradias, etc. (excluindo faixa de domínio)		98	98	98	98
Ruas e rodovias:					
Pavimentadas com calçadas, guias e galeria de drenagem (não incluindo faixa de domínio)		98	98	98	98
Pavimentadas com canais abertos (incluindo faixa de domínio)		83	89	92	93
Pedregulhadas (incluindo faixa de domínio)		76	85	89	91
De terra (incluindo faixa de domínio)		72	82	87	89
Áreas urbanas no deserto (meio oeste dos EUA):					
Paisagem natural do deserto (somente áreas permeáveis)		63	77	85	88
Paisagem artificial do deserto (barreiras impermeáveis com ervas, arbustos do deserto com 25 a 50 mm de material em decomposição com areia ou pedregulho na borda do caule)		96	96	96	96
Zonas Urbanas:					
Comerciais e serviços	85%	89	92	94	95
Industriais	72%	81	88	91	93
Residências pela média do tamanho dos lotes:					
500 m² ou menor (casas de cidades)	65%	77	85	90	92
1000 m²	38%	61	75	83	87
1350 m²	30%	57	72	81	86
2000 m²	25%	54	70	80	85
4000 m²	20%	51	68	79	84
8000 m²	12%	46	65	77	82
Áreas urbanas em desenvolvimento:					
Áreas alteradas recentemente (somente áreas permeáveis, sem vegetação)		77	86	91	94

<sup>1</sup> Condição média de escoamento e  $I_a=0,2*S$ .<sup>2</sup> As porcentagens apresentadas de área impermeabilizada foram usadas para desenvolver os CNS compostos. Outras suposições são: áreas impermeáveis diretamente conectadas ao sistema de drenagem, áreas impermeáveis têm um CN de 98, e as áreas permeáveis são consideradas equivalentes a espaços abertos em boa condição hidrológica.<sup>3</sup> Os CNs apresentados são equivalentes àqueles de pastagem. CNs compostos podem ser estimados para outras combinações de espaço aberto.

Fonte: Adaptado de NRCS (2004a) apud Sartori (2010).

Tabela 5 - CN para cana-de-açúcar no Havaí<sup>1</sup>.

Cobertura e tratamento <sup>2</sup>	CN para o grupo hidrológico			
	A	B	C	D
Cana-de-açúcar:				
Cobertura Limitada, plantio em linha reta	67	78	85	89
Cobertura parcial, plantio em linha reta	49	69	79	84
Cobertura completa, plantio em linha reta	39	61	74	80
Cobertura limitada, plantio em contorno	65	75	82	86
Cobertura parcial, plantio em contorno	25	59	75	83
Cobertura completa, plantio em linha reta	6	35	70	79

<sup>1</sup> Condição média de escoamento e  $I_a=0,2*S$ .

<sup>2</sup> Grau de cobertura:

Limitada: Cana plantada recentemente, ou brotada com um sistema de raízes limitado; o dossel cobre menos da metade da área.

Parcial: A cana no período de transição entre cobertura limitada e completa; o dossel cobre metade de quase toda área.

Completa: A cana do estágio de crescimento que fornece uma cobertura completa até o estágio de colheita. Plantio em linha reta é o plantio morro abaixo ou oblíquo a declividades maiores que 2%.

Plantio em contorno é o que acompanha as curvas de nível do terreno ou plantios oblíquos a declividades menores que 2%.

Fonte: Adaptado de NRCS (2004a) apud Sartori (2010).

Tabela 6 - Valor do CN para Bacias Rurais.

Uso do solo	Superfície	A	B	C	D
Solo Lavrado	Com sulcos Retilíneos	77	86	91	94
	Com fileiras retas	70	80	87	90
	Em curvas de nível	67	77	83	87
Plantações Regulares	Terraceamento em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
	Em curvas de nível	62	74	82	85
Plantações de cereais	Terraceamento em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
	Em curvas de nível	60	72	81	84
Plantações de legumes ou cultivado	Terraceamento em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagens	Pobres, em curva de nível	47	67	81	88
	Normais, em curva de nível	25	59	75	83
	Boas, em curva de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Florestais	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84

Continua

Tabela 6 - Valor do CN para Bacias Rurais.

Uso do solo	Superfície	A	B	C	D
	Densas, de alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Fonte: Tucci (2002).

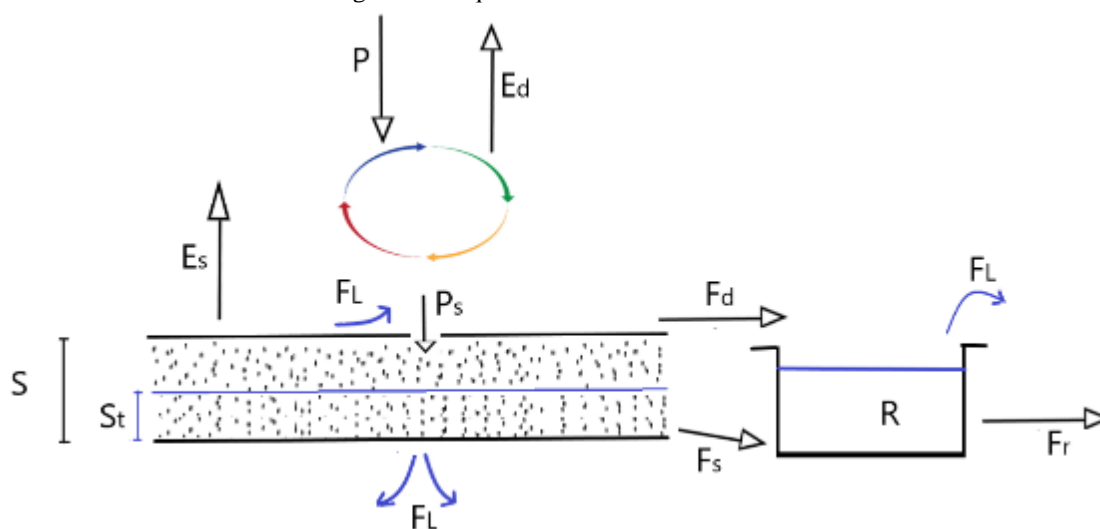
### 3.4 Aplicação do parâmetro S ao modelo CAWM

O Campus Agreste *Watershed Model* (CAWM) é um modelo concentrado com objetivo de simular o escoamento superficial que foi desenvolvido na Universidade Federal de Pernambuco. Sua principal característica é a simplicidade de aplicação e quantidade reduzida de parâmetros, além de que possibilita a regionalização de parâmetro entre bacias distintas, mas, com característica similar. Portanto, é um modelo que permite a modelagem de bacias com escassez de dados e preenchimento de lacunas, como as bacias hidrográficas em regiões semiáridas (GOMES, 2019).

A família de modelos CAWM permite a utilização de dados resultantes de técnicas de geoprocessamento, como o Programa Pernambuco Tridimensional – PE3D ou outra base de dados espaciais. Além disso, possui um melhor aproveitamento de procedimentos de entrada e saída de dados. Os parâmetros do modelo procuram representar as características físicas e hidrológicas da bacia (GOMES, 2019; FERRAZ, 2019).

Atualmente o CAWM encontra-se nas versões IV e V (Figura 5 e 6), sendo o primeiro desenvolvido para as características das bacias hidrográficas de regiões semiáridas enquanto que o CAWM V busca contemplar também o fluxo subterrâneo de base em solos mais profundos. Em ambos os modelos um dos parâmetros de entrada é a parcela de acumulação máxima de água, o “S”. (FERRAZ, 2019). Nos dois modelos considera-se o parâmetro S como a capacidade máxima de retenção de água no solo. Nesse reservatório, para o CAWM IV, é feito o balanço de massa considerando as diferentes variáveis de entrada e saída (GOMES, 2019).

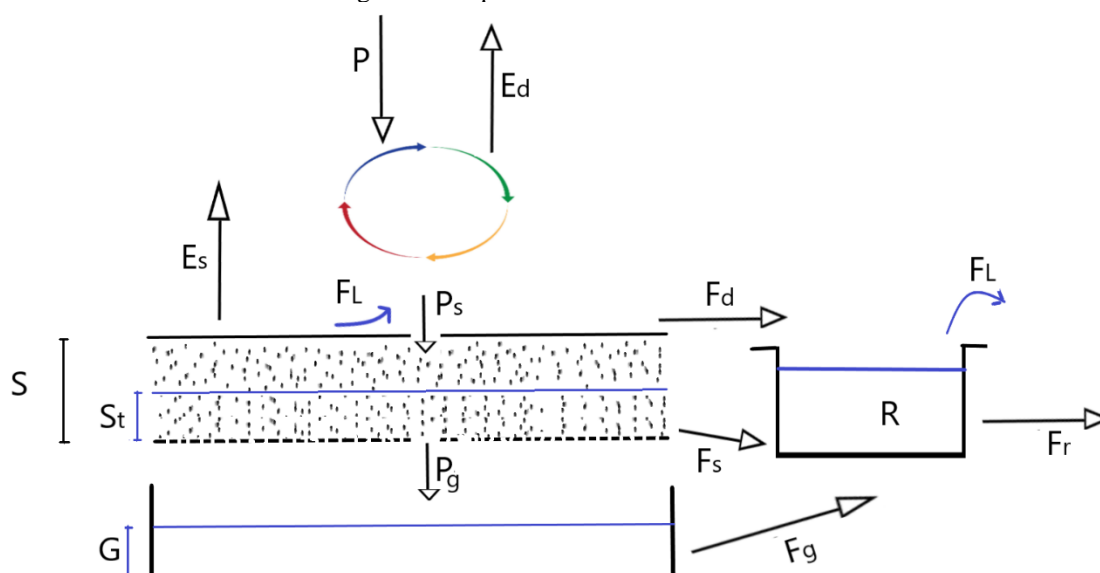
Figura 5 - Esquema do modelo CAWM IV.



Fonte: GOMES (2019).

Já o modelo CAWM V, vide Figura 6, contempla o processo de fluxo subterrâneo em bacias com rios perenes em locais com solos profundos. Neste modelo considera-se também um reservatório subterrâneo que passa a ser alimentado quando o reservatório de solo está saturado, resultando na percolação profunda  $P_g$ . A partir dele ocorre a alimentação  $F_g$  em direção ao rio (FERRAZ, 2019).

Figura 6 - Esquema do modelo CAWM V.



Fonte: FERRAZ (2019).

Os parâmetros que fazem parte do modelo IV e modelo V são os seguintes:

Ed: Evapotranspiração.

Es: Evapotranspiração complementar extraída das camadas mais superficiais.

F<sub>d</sub>: Escoamento superficial direto para a calha fluvial.

F<sub>L</sub>: Perdas de água no sistema.

F<sub>r</sub>: Escoamento fluvial.

F<sub>s</sub>: Volume percolado em direção a calha fluvial.

G: Lâmina acumulada.

P: Precipitação total.

P<sub>s</sub>: Recarga no solo.

P<sub>G</sub>: Fluxo de percolação profunda.

R: Calha fluvial.

S: Capacidade máxima de retenção de água.

S<sub>t</sub>: Armazenamento de água ao longo do tempo.

Assim, o cálculo do parâmetro S se torna parte integrante deste modelo hidrológico, como em diversos outros modelos chuva-vazão registrados na literatura, evidenciando a importância deste trabalho. Para maior detalhes sobre a aplicação do parâmetro S ao modelo CAWM, consultar GOMES (2019) e FERRAZ (2019).

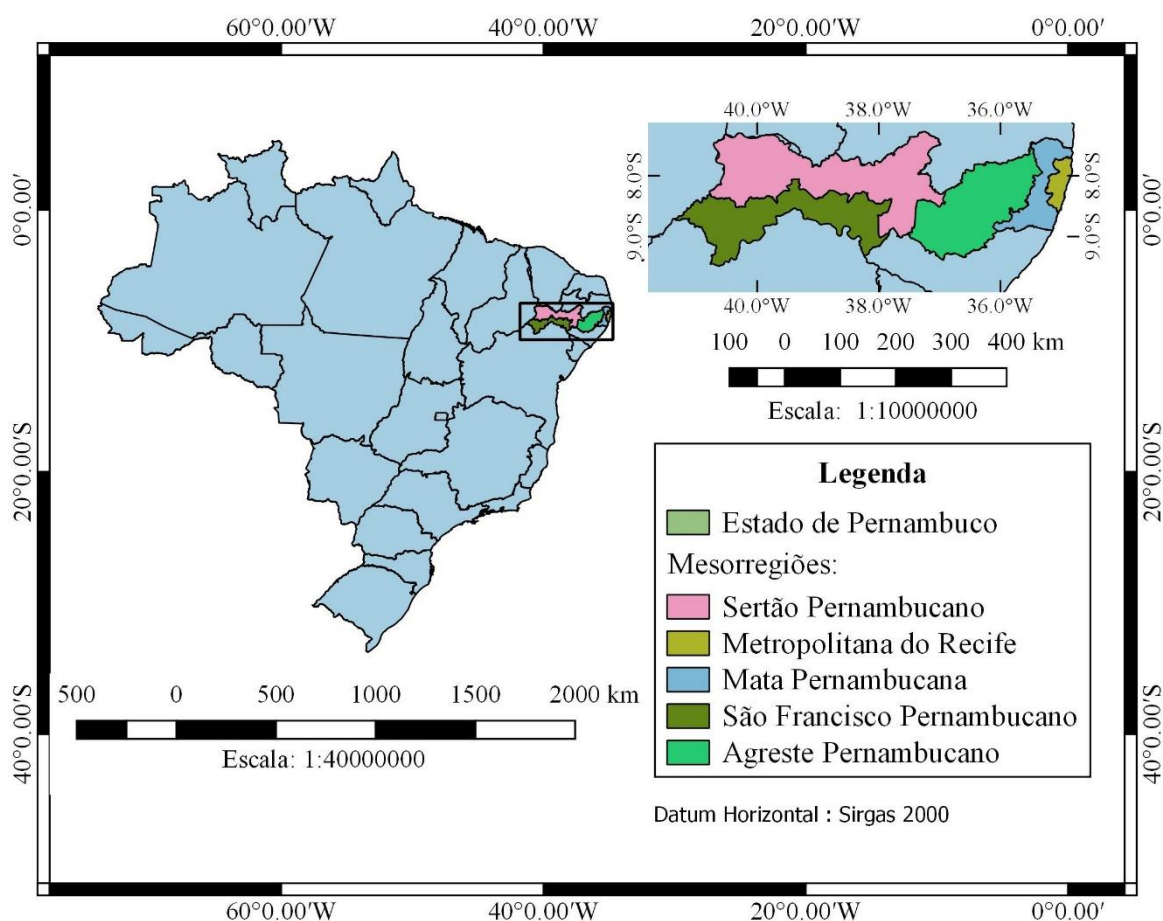
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização do Estado de Pernambuco

#### 4.1.1 Localização

O estado de Pernambuco, localizado na região Nordeste, situa-se entre as latitudes 41,5° e 34,8° Oeste e longitudes de 7,2° e 9,5° Sul. Possui como estados limítrofes a Paraíba, Alagoas, o Ceará, a Bahia e o Piauí. O estado totaliza uma área de aproximadamente 98.149 Km<sup>2</sup>, sendo dividido em 5 mesorregiões: Sertão Pernambucano, Metropolitana do Recife, Mata Pernambucana, São Francisco Pernambucano e Agreste Pernambucano (Figura 7).

Figura 7 - Mapa de localização do estado de Pernambuco e suas mesorregiões.



Fonte: O autor (2019).



#### 4.1.2 Clima

Em Pernambuco, assim como todos os estados do litoral Nordeste, é caracterizado por uma zona de transição entre clima seco no interior e clima úmido da costa, sendo a zona de transição a chamada região do agreste pernambucano, onde ainda se verifica zonas úmidas nesta região. Na região oriental do estado, compreendendo as mesorregiões da zona da mata e região metropolitana do Recife, possui classificação climática Koppen do tipo AS', caracterizado por ser clima tropical, onde a temperatura média em todos meses do ano é igual ou superior a 18 °C, com precipitação significativa apresentando estação mais seca no verão. No estado a temperatura média nessa região é de 24 °C com precipitação média anual de 1600 mm (FRANCISCO, 2019).

Na porção mais central e ocidental do estado compreendendo as mesorregiões do Sertão, do São Francisco e do Agreste Pernambuco o clima segundo Koppen é do tipo BSh, caracterizado por um clima do semiárido quente, onde há um baixo nível de precipitação anual e temperaturas média igual ou superior a 18°C. No estado a temperatura média anual nessa região é de 25°C e a precipitação média anual é de 600 mm (FRANCISCO, 2019).

#### 4.1.3 Solos

O mapa de solos do estado de Pernambuco foi obtido por meio do zoneamento agroecológico do Estado de Pernambuco (ZAPE) elaborado pela EMBRAPA (2010). O mapeamento foi realizado com base no boletim de Araújo Filho et al. na escala de 1:100.000 e seu principal objetivo foi o levantamento sobre a variabilidade dos solos, buscando realizar a quantificação, descrição, avaliação de suas potencialidades e suas relações com as paisagem existentes.

##### *4.1.3.1 Características descritas no ZAPE*

No boletim de Araújo Filho et al. (2000) são descritas algumas características dos solos, como a profundidade efetiva, a textura e a drenagem.

A profundidade efetiva dos solos, que seria a profundidade até o contato lítico ou litóide, ou seja, até à camada de rocha sã ou rocha fragmentada. A classificação em relação a profundidade é a seguinte:

- a) Rasos – Profundidade efetiva menor ou igual a 50 cm.
- b) Pouco Profundo – Profundidade efetiva maior que 50 cm e menor ou igual a 100 cm.
- c) Profundo – Profundidade efetiva maior que 100 cm e menor ou igual a 200 cm.
- d) Muito Profundo – Profundidade efetiva superior a 200 cm.

Quanto à textura, os solos foram classificados com as seguintes subdivisões:

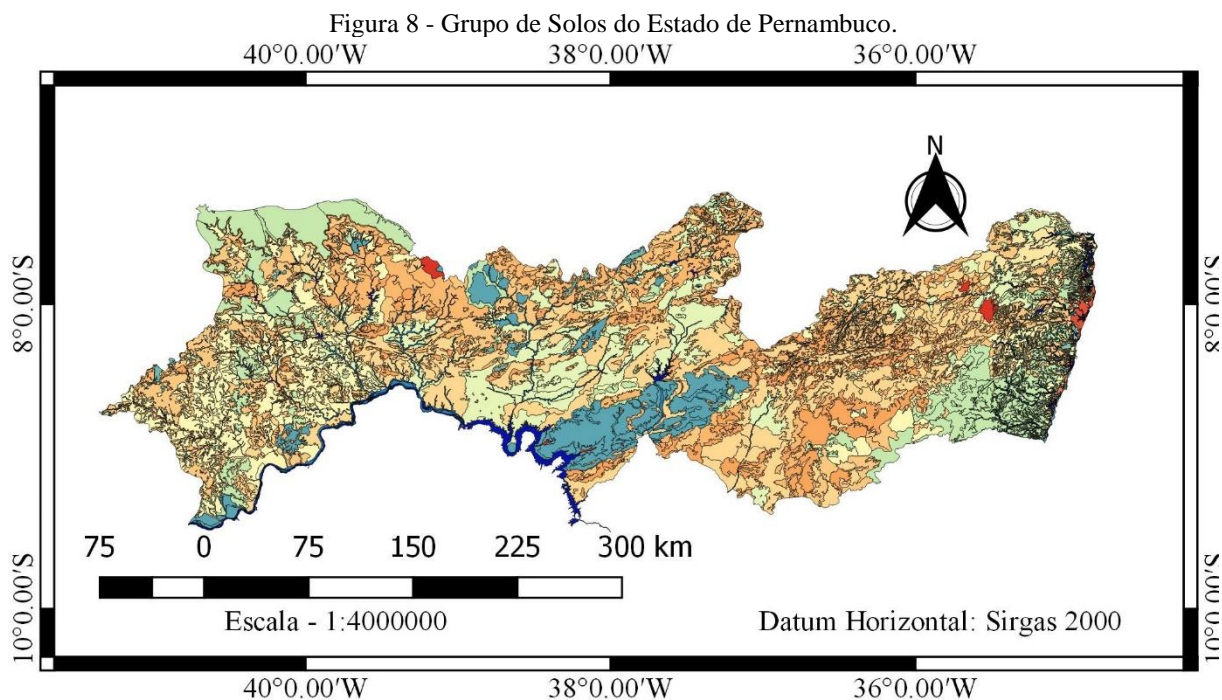
- a) Textura Muito Argilosa – Classe de textura com mais de 60% de argila.
- b) Textura Argilosa – Classe de textura com teor de argila de 35% a 60%.
- c) Textura Média – Classe com textura com menos de 35% de argila e mais de 15% de areia.
- d) Textura Siltosa – Classe com textura com menos de 35% de argila e menos de 15% de areia.
- e) Textura Arenosa – Classes texturais de areia e areia franca.

Em casos de mudanças acentuadas entre camada superficial e subsuperficial a textura é descrita em forma de fração, como exemplo, arenoso/médio.

Em relação a capacidade de drenagem, o boletim de Araújo Filho et al. (2000) não tem uma classificação precisa. Porém, descreve ao longo de seu trabalho se os solos têm como característica serem imperfeitamente drenados, mal drenados, moderadamente drenados, bem drenados e excessivamente drenados. Assim, toma-se esta informação como referência ao longo do trabalho como uma forma de representação qualitativa sobre a característica de drenagem do solo.

#### *4.1.3.2 Tipos de Solos e suas características*

Ainda de acordo com Araújo Filho et al. (2000), as principais classes de solos identificados durante o mapeamento foram: Latossolos, Podzólicos, Podzóis, Plintossolos, Terra Roxa Estruturada, Solos Brunos não Cálcicos, Planossolos e Solonetz Solodizados, Brunizéns, Cambissolos, Vertissolos, Gleissolos, Solos Aluviais, Areias Quartzosas, Regossolos, Solos Litólicos e Solos Indiscriminados de Mangues. Na Figura 8 e no texto a seguir são indicados a distribuição dos solos e suas características.



### Legenda:

#### Solos do Estado de Pernambuco:

 Solos Aluviais	 Podzólicos Amarelos
 Água	 Podzólicos Vermelho-Escuros
 Areias Quartzosas	 Planossolos
 Cambissolo	 Podzólicos Vermelho-Amarelos
 Gleissolo	 Solos Litólicos
 Podzol Hidromórfico	 Regossolos
 Latossolo Amarelo	 Solo Indiscriminado de Manguê
 Latossolo Vermelho-Amarelo	 Terra roxa estruturada
 Bruno Não Cálculo	 Vertissolos
 Podzol	

Fonte: Elaborado pelo autor com dados de EMBRAPA (2010).

Os Latossolos são solos que apresentam perfil relativamente homogêneo com textura argilosa ou média ou ambos. Em geral são muito profundos e bem drenados. No estado há a predominância de Latossolos amarelos, porém há em menor proporção a existência de Latossolos amarelos-vermelhos e com muito pouco taxa de ocorrência de Latossolos vermelhos.

Os solos Podzólicos apresentam característica de possuírem grande variabilidade de tipos, com características de acordo com a região. Variam de muito profundos a rasos, forte a

imperfeitamente drenados e textura variando de arenosa a argilosa em superfície e de média a muito argilosa em subsuperfície, sendo a argila de atividade baixa.

Os Podzois são solos com textura tipicamente arenosos, em geral profundos a muito profundos. Em geral são bem drenados na superfície, mas podendo ser impedido em profundidade devido a horizontes com características cimentícias. Em áreas abaciadas e em depressões esses solos apresentam lençol freático elevado, denominando-se de podzois hidromórficos.

Os Plintossolos geralmente são profundos a muito profundos, salvo em alguns casos na mesorregião do sertão que são rasos a muito rasos. A textura varia de arenosa a média e a drenagem interna moderada a imperfeita.

Terra Roxa Estruturada é um tipo de solo profundo a muito profundo, com textura argilosa a muito argilosa em todos os horizontes. São solos bem drenados e porosos em geral, apresentando características de ótimas condições.

Os Bruno Não Cálcicos são solos poucos profundos, em geral pouco drenados. Apresentam existência de argila de atividade alta e possuem pedregosidade superficial, principalmente na zona semiárida, contribuindo para formação de pavimentos desérticos. São solos de elevado potencial de acumulação de água devido à característica de médio a alto teor de argila, porém, são comprometidos devido à pequena profundidade das camadas.

Os Planossolos são solos mal drenados e apresentam profundidade variável, de raso a medianamente profundos, mudança textural abrupta e argila de atividade alta. Possuem em sua maioria deficiência de drenagem a baixa profundidades sendo solos suscetíveis a erosão e excesso de água em períodos chuvosos.

Os Cambissolos apresentam características variáveis de região para região de acordo com o material originário, clima e relevo. Possuem drenagem deficiente, profundidade entre raso a pouco profundo, predominância de argila de alta atividade e textura que varia de argilosa a média.

Os vertissolos são solos argilosos com presença de argila expansiva e argila de atividade alta, o que contribui para uma deficiência de drenagem quando úmidos, variando de moderadamente a imperfeitamente drenados. Quanto à profundidade, variam de raso a pouco profundo.

Os Gleissolos são solos mal a muito mal drenados e formados em terrenos baixos resultando em excesso de umidade devido ao lençol freático elevado. A textura é muito variável entre média e muito argilosa.

Os Solo Aluviais são solos formados pela sobreposição de camadas de sedimentos aluviais recentes, contribuindo assim por uma diversificação quanto a granulometria e espessura. Somadas as camadas encontram profundidade superior a 2 m. As classes texturais mais comuns são franco-argilosa, franco-arenosa, franco-argilossiltosa, argilosiltosa e argila. A drenagem varia de imperfeitamente drenados em texturas argilosas e bem drenados em texturas arenosas.

As Areias Quartzosas são normalmente profundas a muito profundos e permeáveis, possuindo textura de areia ou areia franca a pelo menos 150 cm de profundidade. São solos excessivamente drenados e de baixa capacidade de retenção de umidade.

Os Regossolos são solos com textura arenosa ou média, com a característica de serem fortemente drenados. Variam de pouco profundo a muito profundo, com espessura mínima encontrada de 50 cm e máxima encontrada de 3 m. Apresentam a característica de baixa capacidade de retenção de água.

Os solos Litólicos são solos tipicamente rasos com menos de 50 cm de profundidade. Apresentam textura siltosa, média e arenosa de acordo com o material originário.

Os solos indiscriminados de Mangue possuem textura predominante argilosa e são solos que periodicamente ocorrem inundações. Ocorrem na proximidade de lagoas ou cursos de rios em pequenas depressões na baixada litorânea seguindo ao litoral.

#### 4.1.4 Uso e Ocupação dos solos

O uso e ocupação dos solos foram quantificados por meio do monitoramento da cobertura e uso da terra do IBGE (2018) para o ano de 2016. Em seu estudo, o IBGE fez o levantamento com base no satélite OLI/Landsat-8 para o ano de 2016, buscando imagens com maior qualidade possível, evitando aquelas com excesso de nuvens e com presença de fumaças de queimadas (IBGE, 2018).

O IBGE (2018) classificou todo o mapa do Brasil em 12 classes compreendendo: área artificial, área agrícola, pastagem com manejo, mosaico de ocupação em área florestal, silvicultura, vegetação florestal, área úmida, vegetação campestre, mosaico de ocupação em área campestre, corpo d'água continental, corpo d'água costeiro e área descoberta. As classes são definidas no Quadro 2.

Quadro 2 - Classes de Cobertura e uso da Terra.

<b>CLASSES DE COBERTURA E USO DA TERRA</b>		
<b>Cód.</b>	<b>Classe</b>	<b>Descrição</b>
1	Área Artificial	Áreas onde predominam superfícies antrópicas não-agrícolas. São aquelas estruturadas por edificações e sistema viário, nas quais estão incluídas as metrópoles, cidades, vilas, as aldeias indígenas e comunidades quilombolas, áreas de rodovias, serviços e transportes, redes de energia, comunicações e terrenos associados, áreas ocupadas por complexos industriais e comerciais e edificações que podem, em alguns casos, estar situadas em áreas peri-urbanas. Também pertencem a essa classe as áreas onde ocorrem a exploração ou extração de substâncias minerais, por meio de lavra ou garimpo.
2	Área Agrícola	Área caracterizada por lavouras temporárias, semi-perenes e permanentes, irrigadas ou não, sendo a terra utilizada para a produção de alimentos, fibras e commodities do agronegócio. Inclui todas as áreas cultivadas, inclusive as que estão em pousio ou localizadas em terrenos alagáveis. Pode ser representada por zonas agrícolas heterogêneas ou extensas áreas de plantations. Inclui também os tanques de aquicultura.
3	Pastagem com Manejo	Áreas destinadas ao pastoreio do gado e outros animais, com vegetação herbácea cultivada (braquiária, azevém, etc) ou vegetação campestre (natural), ambas apresentando interferências antrópicas de alta intensidade. Estas interferências podem incluir o plantio; a limpeza da terra (destocamento e despedramento); eliminação de ervas daninhas de forma mecânica ou química (aplicação de herbicidas); gradagem; calagem; adubação; entre outras que descaracterizem a cobertura natural.
4	Mosaico de Ocupações em Área Florestal	Área caracterizada por ocupação mista de agricultura, pastagem e/ou silvicultura associada ou não a remanescentes florestais, na qual não é possível uma individualização de seus componentes. Inclui também áreas com perturbações naturais e antrópicas, mecânicas ou não mecânicas, que dificultem a caracterização da área.
5	Silvicultura	Área caracterizada por plantios florestais de espécies exóticas ou nativas como monoculturas.
6	Vegetação Florestal	Área ocupada por florestas. Consideram-se florestais as formações arbóreas com porte superior a 5 metros de altura, incluindo-se aí as áreas de Floresta Ombrófila Densa, de Floresta Ombrófila Aberta, de Floresta Estacional, além da Floresta Ombrófila Mista. Inclui outras feições em razão de seu porte superior a 5 m de altura, como a Savana Florestada, Campinarana Florestada, Savana-Estépica Florestada, os Manguezais e os Buritizais, conforme o Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013).
9	Área Úmida	Área caracterizada por vegetação natural herbácea (cobertura de 10% ou mais), permanentemente ou periodicamente inundada por água doce ou salobra. Inclui os terrenos de charcos, pântanos, campos úmidos, estuários, entre outros. O período de inundação deve ser de no mínimo 2 meses por ano. Pode ocorrer vegetação arbustiva ou arbórea, desde que estas ocupem área inferior a 10% do total.

Continua

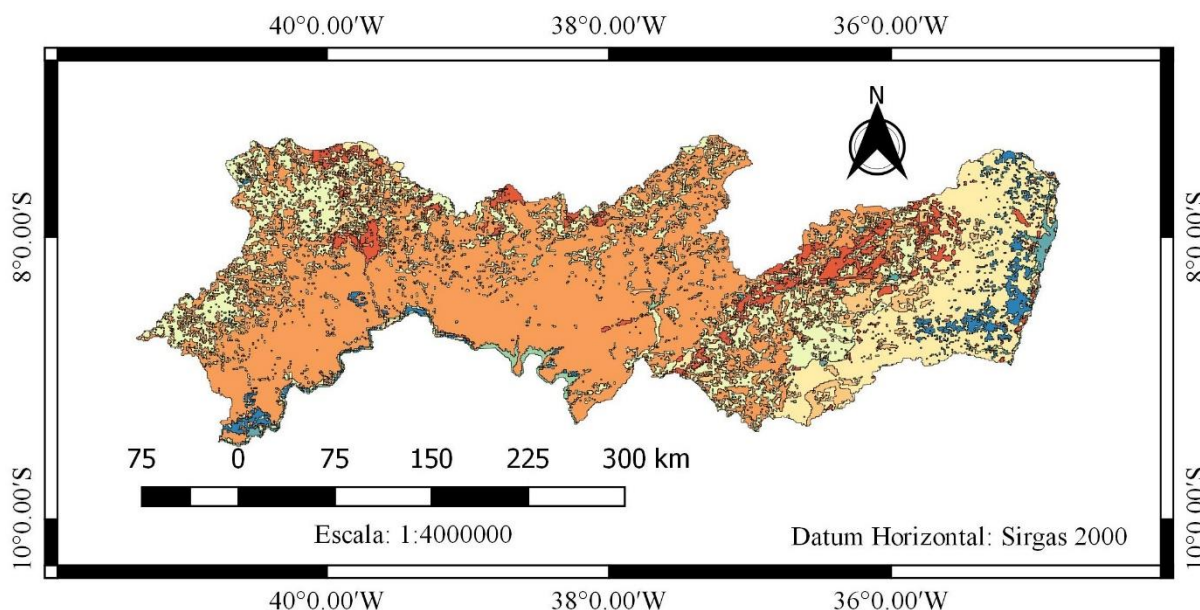
Quadro 2 – Classes de Cobertura e uso da Terra.

10	Vegetação Campestre	Área caracterizada por formações campestres. Entende-se como campestres as diferentes categorias de vegetação fisionomicamente bem diversas da florestal, ou seja, aquelas que se caracterizam por um estrato predominantemente arbustivo, esparsamente distribuído sobre um estrato gramíneo-lenhoso. Incluem-se nessa categoria as Savanas, Estepes, SavanasEstépicas, Formações Pioneiras e Refúgios Ecológicos. Encontram-se disseminadas por diferentes regiões fitogeográficas, compreendendo diferentes tipologias primárias: estepes planaltinas, campos rupestres das serras costeiras e campos hidroarenosos litorâneos (restinga), conforme o Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013). Essas áreas podem estar sujeitas a pastoreio e a outras interferências antrópicas de baixa intensidade como as áreas de pastagens não manejadas do Rio Grande do Sul e do Pantanal.
11	Mosaico de Ocupações em Área Campestre	Área caracterizada por ocupação mista de agricultura, pastagem e/ou silvicultura associada ou não a remanescentes campestres, na qual não é possível uma individualização de seus componentes. Inclui também áreas com perturbações naturais e antrópicas, mecânicas ou não mecânicas, que dificultem a caracterização da área.
12	Corpo d'água Continental	Inclui todas as águas interiores, como rios, riachos, canais e outros corpos d'água lineares. Também engloba corpos d'água naturalmente fechados (lagos naturais) e reservatórios artificiais (represamentos artificiais de água construídos para irrigação, controle de enchentes, fornecimento de água e geração de energia elétrica).
13	Corpo d'água Costeiro	Inclui todas as águas costeiras (lagunas, estuários e baías que ocupam as Planícies Costeiras) e as águas inseridas nas 12 milhas náuticas, conforme Lei nº 8.617, de 4 de janeiro de 1993.
14	Área Descoberta	Esta categoria engloba locais sem vegetação, como os afloramentos rochosos, penhascos, recifes e terrenos com processos de erosão ativos. Também inclui as praias e dunas, litorâneas e interiores, e acúmulo de cascalho ao longo dos rios.

Fonte: IBGE (2018).

O mapa de distribuição do uso e ocupação elaborado com dados do IBGE (2018), para Pernambuco, pode ser visualizado na Figura 9. Verifica-se que há uma maior incidência de vegetação campestre englobando as mesorregiões do agreste, sertão e do São Francisco. Já na região da zona da mata, região metropolitana e parte do agreste ocorre predominância de mosaico de ocupação em área florestal.

Figura 9 - Mapa de Uso e Ocupação do estado de Pernambuco.



### Legenda:

#### Uso e Ocupação de Pernambuco:

Área Agrícola	Mosaico de Ocupação em Área Florestal
Área Artificial	Pastagem com Manejo
Corpo d'Água Continental	Vegetação Campestre
Corpo d'Água Costeiro	Vegetação Florestal
Mosaico de Ocupações em Área Campestre	

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de IBGE (2018).

## 4.2 Processamento dos dados

### 4.2.2 Grupo Hidrológico dos solos

Para a classificação hidrológica dos solos foi adotada a classificação baseada no modelo de Sartori et al. (2005) em conjunto com os dados disponíveis no boletim de Araújo Filho et al. (2000) como forma de avaliar o enquadramento de cada solo em seu grupo hidrológico. Os principais critérios adotados para comparação da classificação foram: profundidade, textura, existência ou não de argila de alta atividade e a observação sobre a drenagem de cada tipo de solo. Há alguns tipos de solos que carecem de dados, levando ao uso da classificação de Sartori et al. (2005).

Vale salientar que essa classificação é uma primeira alternativa para a classificação, porém, ao analisar a classificação por tipo de solo, deve-se considerar características específicas



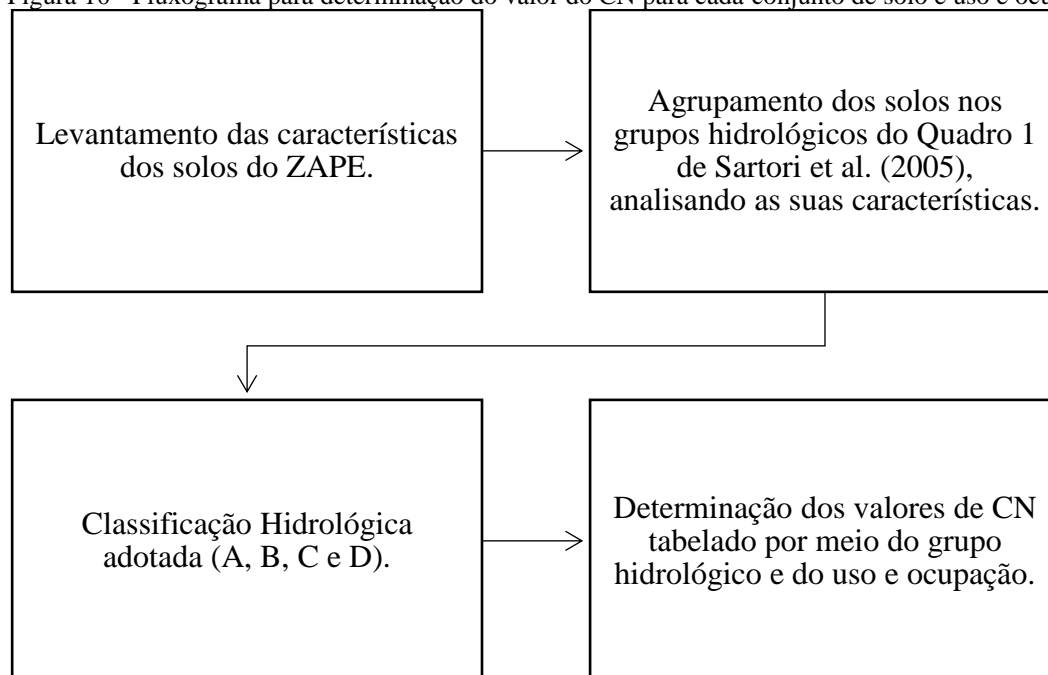
que possam ser principais intervenientes na classificação, como exemplo, a presença de lençol freático a baixa profundidade.

Assim, adotou-se como meio de classificação aquelas descritas no Quadro 1, com análise comparativa de informações descritas no boletim de Araújo Filho et al. (2000), reclassificando os solos quando ocorrência de divergência.

#### 4.2.3 Uso e ocupação do solo e valores da Curva Número

A partir do uso e ocupação do solos e grupo hidrológico, correlacionou-se com os valores do CN das Tabelas 1, 2, 3, 5 e 5 da NRCS (2004a) e a Tabela 6 de Tucci (2002). Neste estudo, considerou-se o CN em condições médias de umidade do solo (AMC II). A determinação dos valores do CN foi realizada conforme fluxograma da Figura 10.

Figura 10 - Fluxograma para determinação do valor do CN para cada conjunto de solo e uso e ocupação.



Fonte: O autor (2019).

Para as áreas artificiais considerou-se como área urbana com área construída inferior a 500 m<sup>2</sup>, pois, nessas regiões há a predominância de áreas artificiais não agrícolas. Para as áreas agrícolas foi adotado o uso e ocupação como plantação de cana de açúcar para a regiões da Zona da Mata e Zona Metropolitana do estado e plantação de legumes e cultivados para as demais regiões. Nas zonas de pastagem com manejo, foi considerado pastagem de forma regular. Nas regiões de área florestal e área campestre foram considerados respectivamente como floresta normal e campos normais.

Para a cobertura de mosaico de ocupação em área florestal e mosaico de ocupação em área campestre, o levantamento do IBGE (2018) não conseguiu distinguir qual o uso antrópico que contemplava a região. Assim, foi adotada a média entre os usos que poderiam ocorrer nos mosaicos. Na região de mosaico de ocupação em área florestal foi considerada a média entre cana de açúcar em contorno, pois é predominantemente na zona da mata, pastagem regular e floresta normal. Já no mosaico de ocupação em área campestre foi considerada a média entre plantação de legumes ou cultivados, pastagem regular e campos normais.

As demais coberturas foram consideradas como CN=100 para todos os grupos hidrológicos. O resumo dos valores do CN é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Resumo dos valores de CN adotado.

Uso e Ocupação do solo	Uso e Ocupação adotado	CN			
		A	B	C	D
Áreas artificiais	Área urbana com área construída inferior 500 m <sup>1</sup>	77	85	90	92
Áreas Agrícolas	Cana de açúcar em contorno <sup>1</sup>	25	59	75	83
	Plantação de legumes ou cultivados - Normal <sup>2</sup>	49	69	79	94
Mosaico de ocupação em área florestal	Média entre cana de açúcar em contorno/pastagem/Área Florestal <sup>3</sup>	37	63	75	81
Área Florestal	Floresta normal <sup>2</sup>	36	60	70	76
Mosaico de ocupação em área campestre	Média entre plantação de legumes ou cultivados/pastagem/área Campestre <sup>3</sup>	45	66	77	86
Área Campestre	Campos normais <sup>2</sup>	36	60	73	79
Pastagem com Manejo	Pastagem regular <sup>1</sup>	49	69	79	84
Corpo d'água costeiro	-	100	100	100	100
Corpo d'água Continental	-	100	100	100	100

<sup>1</sup> Valor do CN adotado da fonte NRCS (2004a) apud Sartori (2010).

<sup>2</sup> Valor do CN adotado de Tucci (2002).

<sup>3</sup> Média do CN adotado para as ocupações descritas no texto.

Fonte: Sartori (2010) e Tucci (2002).

#### 4.2.4 Cálculo do potencial de acumulação de água (S)

Com auxílio do QGIS foi realizada a união dos mapas do grupo hidrológico e do uso e ocupação bem como suas tabelas de tributos. Para isto, utilizou-se o algoritmo chamado “União” que com o fornecimento dos arquivos “*shapefile*” ocorreu a interseção, formando novos polígonos com característica única de grupo hidrológico e uso e ocupação. A partir de então, para cada unidade de polígono formado no arquivo “*shapefile*” gerado, foram atribuídos

os valores de CN. Com os valores do CN foi possível calcular o valor do S em mm, pela Equação (3), conforme mostrado a seguir.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

### 4.3 Sistematização da obtenção do S no QGIS

O *Quantum Gis* (QGIS) é um software de sistema de informação geográfica (SIG) multiplataforma com código fonte aberto licenciado segundo a licença pública geral GNU. O QGIS permite a realização de operações com dados georreferenciados, como a visualização, a edição e a análise desses dados (QGIS, 2019).

O QGIS permite o processamento de dados espaciais e geração de produtos utilizando diferentes projeções, permitindo compor mapas a partir de camada raster e vetoriais (QGIS, 2019a). O raster é um arquivo georreferenciado que possui coordenadas de longitude e latitude, além da cota dos diferentes pontos que o compõem. Já os vetoriais são arquivos de pontos, linhas e polígonos com coordenadas somente do plano horizontal, sendo o formato mais utilizado o tipo “*shapefile*”.

Dentro do software existem diversos algoritmos que envolvem operações com arquivos georreferenciados, indo de atividade simples, como o corte de polígonos, até tarefas mais complexas, como a montagem da rede de drenagem de bacias hidrográficas a partir de arquivos raster.

Outra funcionalidade do QGIS é o do uso do *plugin*: programas para funções específicas desenvolvidos por organizações e desenvolvedores independentes, sendo destes a sua responsabilidade. Os *plugins* podem ser instalados por meio do repositório do QGIS e permitem a existência de funcionalidades adicionais (QGIS, 2019b).

Para uma maior aplicação dos resultados, buscou-se sistematizar a obtenção do S no QGIS através do desenvolvimento de um *plugin*. Objetiva-se a simplicidade de aplicação com o fornecimento de arquivos “*shapefile*” de determinadas regiões do estado resultando na determinação do CN médio e S médio da região.

O *plugin* no QGIS foi baseado na linguagem Python, sendo utilizados os conhecimentos de programação e auxílio de complementos do QGIS para sua programação. Em conjunto, fez-se uso de algoritmos preexistentes do QGIS, como de corte de vetores no formato “*shapefile*”, para atingir a finalidade do plugin.

As etapas de desenvolvimento do plugin são as seguintes:

- Elaboração da programação básica com um plugin do próprio QGIS, o *Plugin Builder*, que gera uma série de arquivos base da qual tem o início da programação.
- Elaboração da interface gráfica através do *Qt designer*, que é um programa de multiplataforma já acoplado ao QGIS no ato da instalação.
- Programação em Python para interligar a interface com o usuário, além de utilizar-se de algoritmos já existentes no próprio QGIS para realizar operações com a tabela do Excel e nos arquivos “*Shapefile*”.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Classificação Hidrológica

Na Tabela 8 pode-se visualizar a nomenclatura adotada no levantamento do ZAPE, a nomenclatura atual do sistema brasileiro de classificação dos solos (EMBRAPA, 2018), a classificação com base em Sartori et al. (2005) e a classificação adotada com os dados de Araújo Filho et al. (2000). Constata-se que todos os solos se enquadraram dentro da classificação dos solos de Sartori et. al. (2005).

Tabela 8 - Correspondência entre as classificações adotadas no ZAPE e o sistema brasileiro de classificação de solos e a classificação adotada.

<b>Nomenclatura do levantamento de solo de Filho et. al. (2000)</b>	<b>Nomenclatura atual do SBCS da EMBRAPA (1999)</b>	<b>Classificação de Sartori et. al. (2005)</b>	<b>Classificação adotada</b>
Latossolo amarelo	Latossolo amarelo	A/B	A
Latossolo vermelho-amarelo	Latossolo vermelho-amarelo	A/B	A
Podzólico	Argissolo	B/C/D	A/B/C
Terra Roxa estruturada	Nitossolo	B	B
Podzol	Espodossolos	C	C
Bruno não cálcico	Luvissolos	D	D
Planossolo	Planossolo	D	D
Cambissolo	Cambissolo	C/D	C/D
Vertissolo	Vertissolo	D	D
Gleissolo	Gleissolo	D	D
Solo Aluvial	Neossolo Fluvico	C	C
Regossolo	Neossolo regolítico	-	C
Areias Quartzosas	Neossolo Quartzarênicos	B	B
Solos Litólicos	Neossolo Litólicos	D	D
Solo Indiscriminado de Mangue	Solo de Mangue	D	D

Fonte: O autor (2019).

Na Tabela 9 é mostrado o percentual de cada grupo hidrológico por mesorregião do estado, bem como o valor percentual para o estado de Pernambuco. No Agreste existe a predominância de solos do grupo D devido ao fato de a maioria dos solos da região serem rasos. Na região da Zona da Mata há em maior percentual solos do grupo A e em segundo lugar solos do grupo B. Isso é resultado da maioria dos solos dessa região serem profundos e com boa capacidade de drenagem. Quando se parte para analisar a região metropolitana do Recife aumenta a predominância de solos com grupo D.

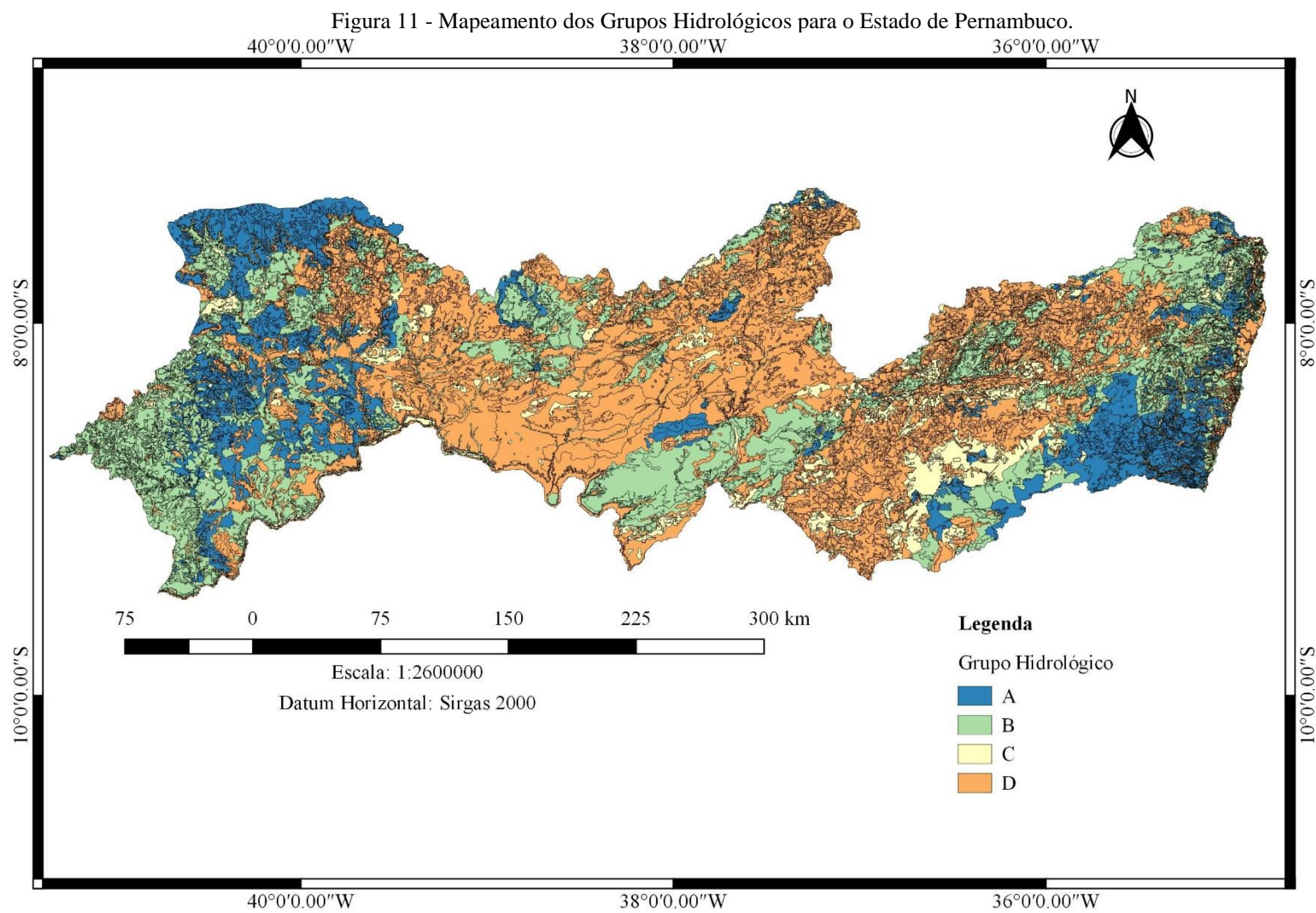
Tabela 9 - Percentual de cada grupo hidrológico nas mesorregiões do estado de Pernambuco.

	<b>Agreste</b>	<b>Sertão</b>	<b>Sertão do São Francisco</b>	<b>Metropolitana do Recife</b>	<b>Zona da Mata</b>	<b>Pernambuco</b>
<b>A</b>	7,52%	16,67%	13,47%	22,33%	41,54%	15,87%
<b>B</b>	19,93%	24,98%	36,55%	41,29%	38,64%	28,23%
<b>C</b>	17,46%	7,49%	6,49%	5,88%	3,15%	9,32%
<b>D</b>	55,09%	50,86%	43,49%	30,49%	16,67%	46,58%

Fonte: O autor (2019).

Nas regiões do São Francisco e do Sertão ocorre grande variabilidade de grupos, apresentando uma maior quantidade de solos com grupo A e B quando na região oeste. Na medida que se aproxima da região mais central do estado ocorre um aumento do índice de solos com grupo D. Quando se verifica a região do São Francisco, na sua porção mais central, existe uma grande mancha de solo com grupo B devido à presença de Neossolos Quartzarênicos.

Quando se analisa Pernambuco como um todo, observa-se a predominância de solos do grupo D (46,58%). Em segundo lugar tem-se o grupo B, estando presente na região central e nos extremos leste e oeste do estado. Já o grupo A está presente principalmente na zona da mata e no sertão do estado. A Figura 11 mostra o mapeamento dos grupos hidrológicos para o estado de Pernambuco.



Fonte: O autor (2019).

## 5.2 Potencial de Acumulação de Água nos Solos (S)

Na Figura 12 é mostrado o resultado do mapeamento do Potencial de acumulação de água S (mm) para os solos do estado de Pernambuco. É visível a predominância dos valores do S nas faixas de 0 mm – 52 mm e 52 mm – 114 mm para o estado de Pernambuco. Isso se deve ao fato de a maioria dos solos serem enquadrados no Grupo C, além da predominância do grupo de uso e ocupação pelo tipo vegetação campestre, ocasionando valores inferiores. O valor encontrado do CN médio para o estado foi de 68, correspondendo ao valor de S de 117,13 mm.

Na Tabela 10 são apresentados os valores encontrados para as mesorregiões do estado. Os maiores valores de S foram obtidos nas regiões da Zona da Mata (Figura 14) e Metropolitana do Recife (Figura 13), correspondendo a 208,88 mm e 135,64 mm, respectivamente. Esses valores estão associados à presença de grupo de solos da classe A, a exemplo os latossolos, em conjunto com o uso e ocupação do tipo florestal e de agricultura.

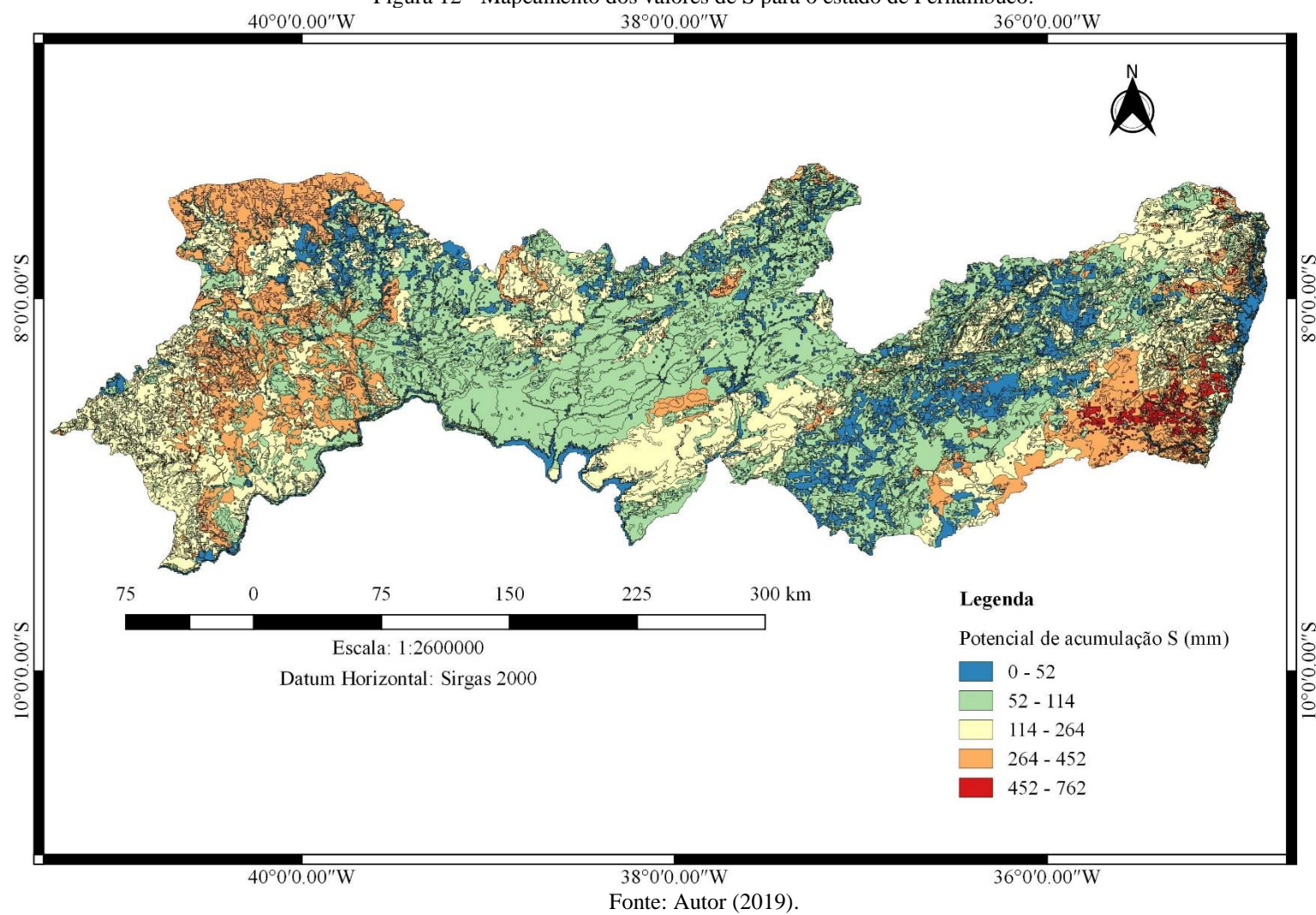
Tabela 10 - Valor do CN e S (mm) para as mesorregiões do estado de Pernambuco.

<b>Valor do CN e S</b>		
<b>Mesorregião</b>	<b>CN Médio</b>	<b>S Médio (mm)</b>
Metropolitana	65	135,64
Zona da Mata	55	208,88
Agreste	74	90,46
Sertão	69	115,48
São Francisco	68	121,45
<b>Pernambuco</b>	<b>68</b>	<b>117,13</b>

Fonte: O autor (2019).



Figura 12 - Mapeamento dos valores de S para o estado de Pernambuco.



O Agreste pernambucano (Figura 15) recebeu o menor valor do S, visto que a região possui maior predominância de solos do Grupo D, em conjunto com uso e ocupação do solo do tipo campestre, contribuindo para o valor de S de 90,46 mm.

As demais regiões possuem um misto entre solos de todos os grupos hidrológicos e de uso e ocupação, ocorrendo uma grande variabilidade dos valores de S. A mesorregião do Sertão pernambucano (Figura 16) na sua porção mais a oeste, possui solos de grupo A e B em maior quantidade, enquanto a porção mais ao leste tem predominância de solo grupo D e, por consequência, menores valores de S. O mesmo ocorre para a região do São Francisco Pernambucano (Figura 17), com a porção mais ao oeste e a porção do extremo leste com maiores valores de S e a região mais central com menores valores de S.

Figura 13 - Valor do S para região Metropolitana do Recife.

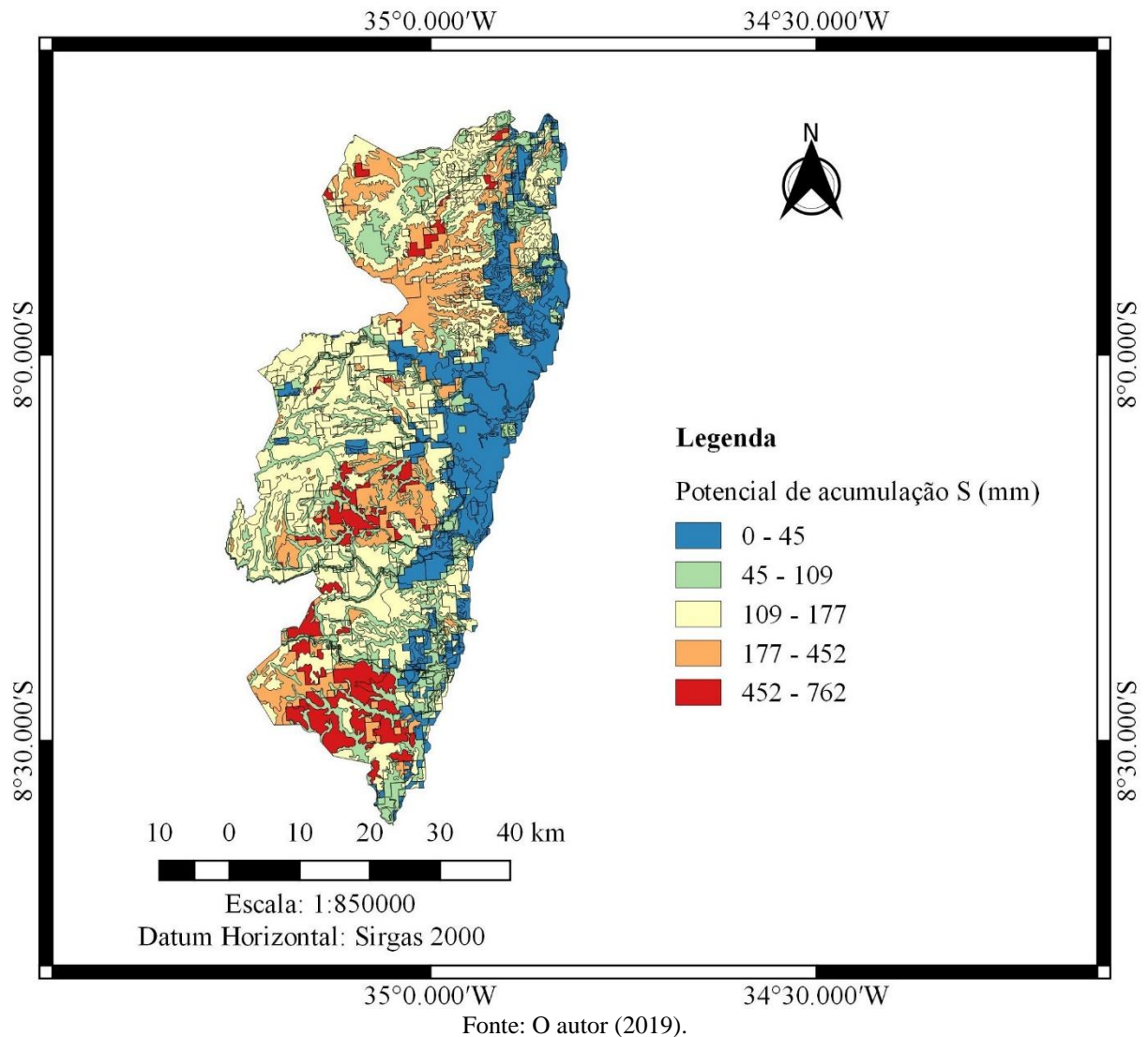
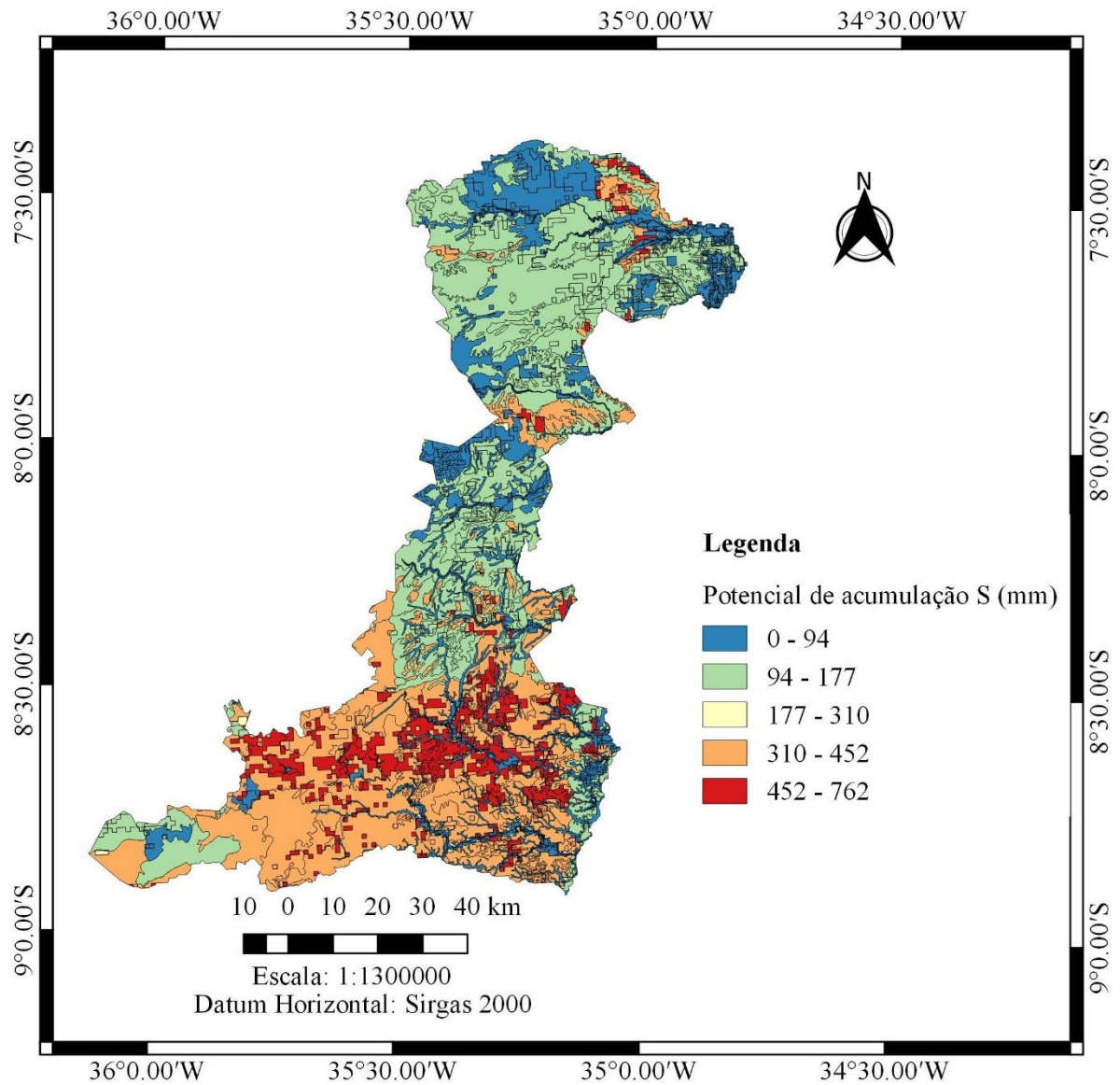


Figura 14 - Valor do S para região da Zona da Mata pernambucano.



Fonte: O autor (2019).



Figura 15 - Valor do S para região do Agreste pernambucano.

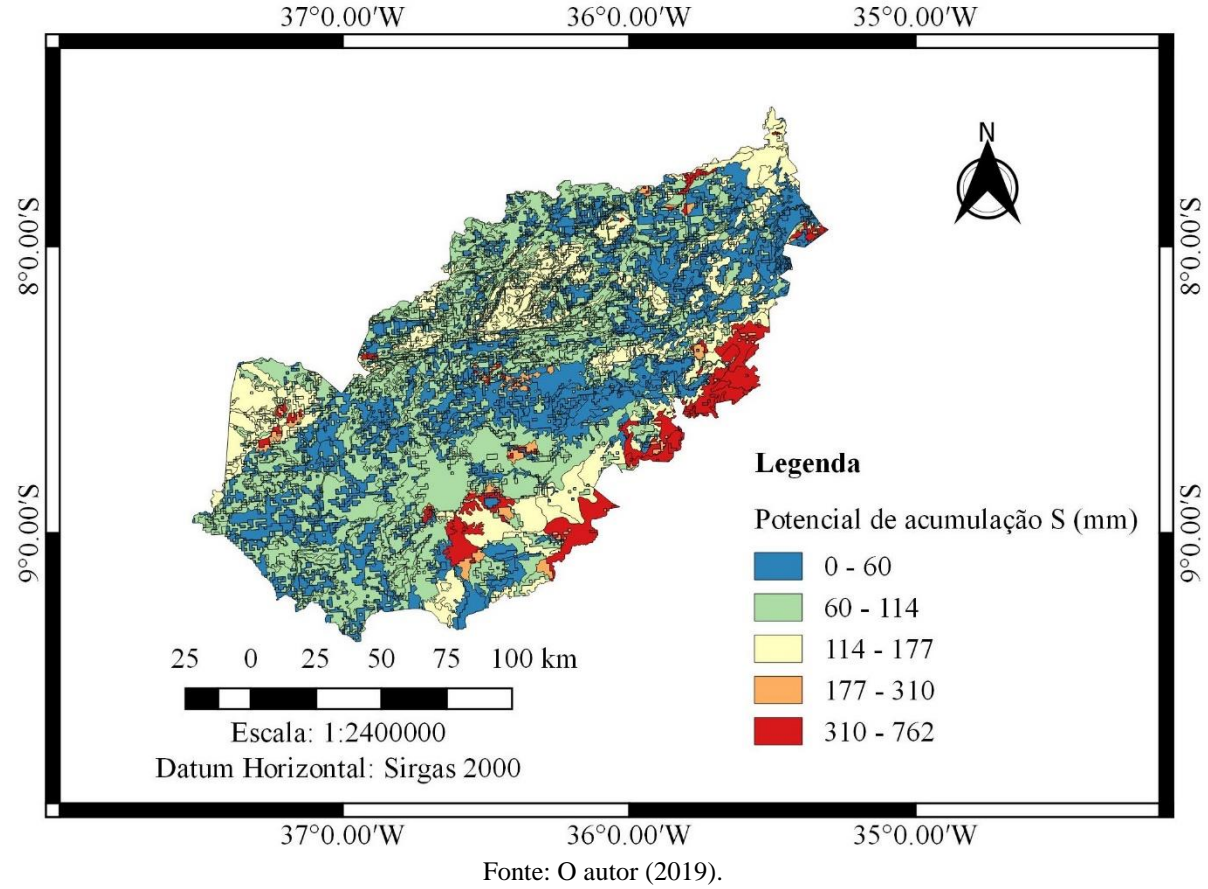


Figura 16 - Valor do S para o Sertão pernambucano.

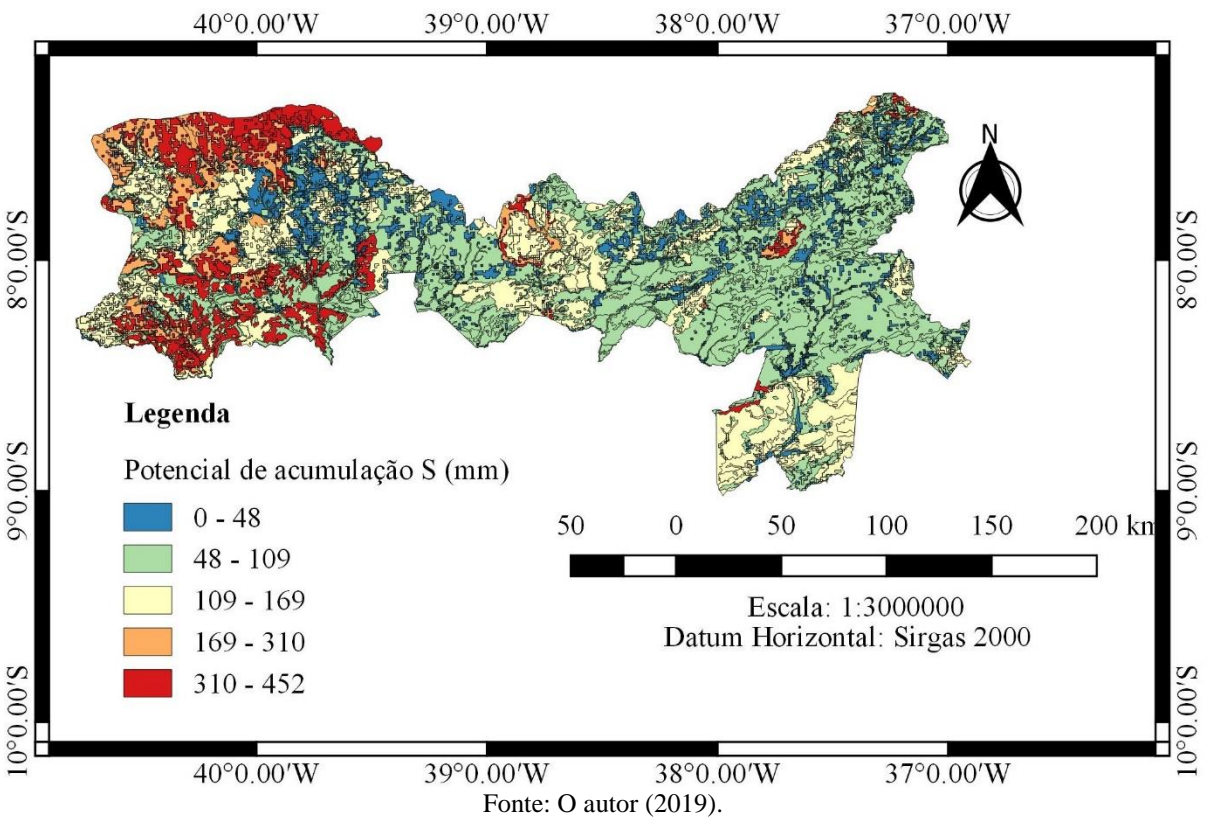
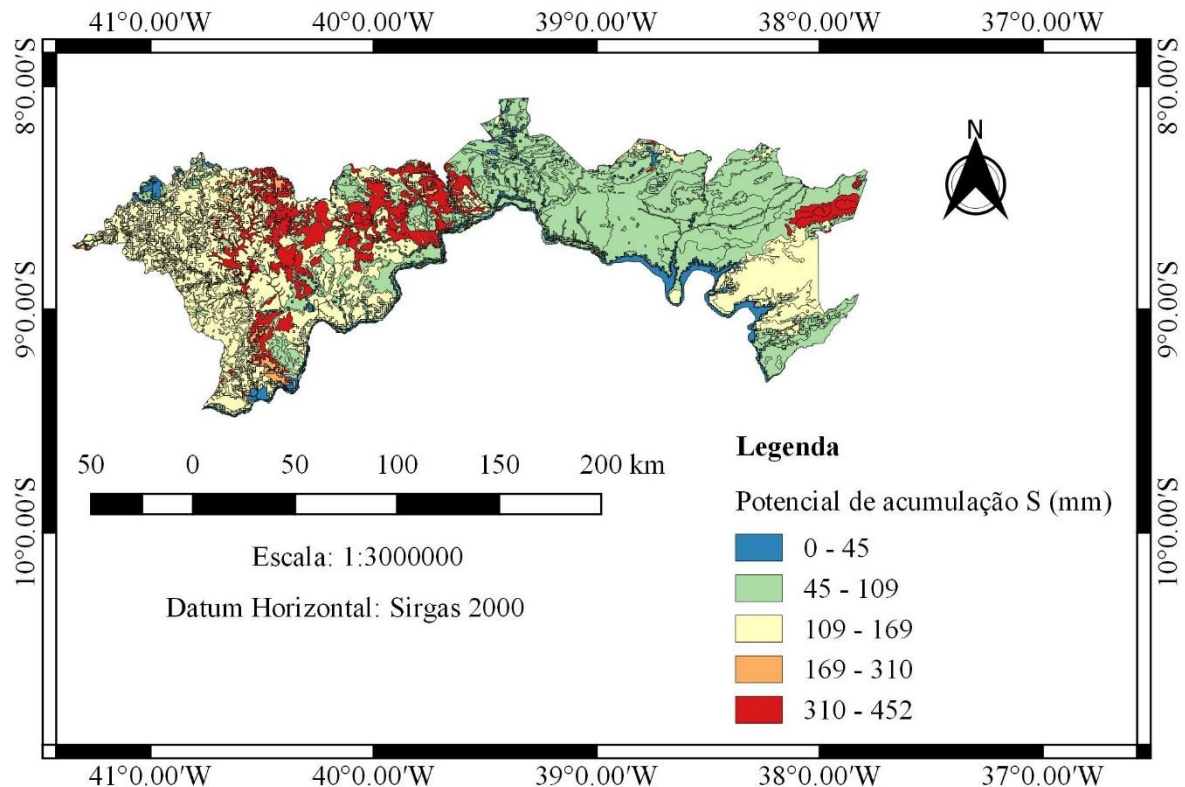


Figura 17 - Valor do S para a região do São Francisco pernambucano.



Fonte: O autor (2019).

### 5.3 Aplicação dos resultados

Os resultados obtidos foram aplicados no modelo hidrológico CAWM nos trabalhos de Ferraz (2019) e Gomes (2019). Gomes (2019), aplicou os resultados do valor do S na sua dissertação para a bacia do rio Capibaribe, com o modelo CAWM IV, simulando as enchentes e o controle obtido com as barragens. Já Ferraz (2019), aplicou na sua dissertação o valor do S para a bacia do rio Sirinhaém, utilizando o modelo CAWM V para rios perenes. A Tabela 11 apresenta o resumo dos valores do S para as bacias descritas anteriormente. Ressalta-se que o objetivo principal foi calcular o valor do S, não sendo utilizadas as equações de vazão do SCS para o modelo CAWM.

Tabela 11 - Aplicação do valor do S em estudos.

<b>Aplicação do valor do S</b>		
<b>Autor</b>	<b>Bacia Hidrográfica</b>	<b>Valor do S (mm)</b>
Gomes (2019)	Rio Capibaribe	88,06
Ferraz (2019)	Rio Sirinhaém	299,75

Fonte: O autor (2019).

## 5.4 Plugin do QGIS

O plugin foi elaborado no QGIS por meio de linguagem Python, sendo desenvolvido para ser utilizado de forma *offline*, pois não está disponível no repositório do QGIS. Os requisitos básicos são o uso do *Windows* e QGIS versão 2. No Anexo 1 apresenta-se o manual de instalação e uso do Plugin.

O algoritmo base foi gerado por meio do *Plugin Builder* do QGIS. Para o autor, coube as alterações na função “*run*”, a elaboração da função “selecionar saída” e elaboração da *interface* por meio *Qt Designer*. No anexo 2 é mostrado o algoritmo principal do *Plugin*.

O plugin tem como inputs o shape da bacia hidrográfica de estudo e o local onde se pretende salvar o arquivo no formato “.csv”. Com o fornecimento do “*shapefile*” da bacia desejada, o algoritmo recorta o shape de solos, do uso e ocupação e dos valores de CN, com o comando do QGIS “*Clip*”. Em seguida são realizadas operações para cálculo do CN médio da bacia por meio de ponderação com a área. No fim esses dados são exportados para um arquivo .csv com os valores de CN, áreas (m<sup>2</sup>), CN médio e S médio em mm.

## 6 CONCLUSÕES

A análise hidrológica por modelos que englobem dados de armazenamento de água dos solos requer o conhecimento da capacidade de retenção da água, o que foi o objetivo principal da pesquisa. Como são muitos os modelos que utilizam os parâmetros CN e S, acredita-se que o trabalho desenvolvido seja importante para as ações de modelagem. Ressalta-se que os valores do CN e S aqui calculados são suscetíveis a erros que influenciam fortemente no valor da vazão calculado por meio da equação do SCS e, portanto, o cálculo da vazão diretamente pelo método deve ser feito com cautela. Nas aplicações citadas o cálculo da vazão foi feito pelo modelo CAWM.

Com os resultados, percebe-se que a região semiárida do estado de Pernambuco, em todo caso, apresentou valores de potencial de acumulação médio acima de 100 mm. A região da Zona da Mata apresentou maiores valores de S por conta da composição dos seus solos. Já a região Metropolitana do Recife apresentou valor reduzido em comparação com a Zona da Mata devido à grande mancha urbana que compromete o escoamento subterrâneo. As regiões do sertão e do São Francisco apresentaram maiores valores de S na extremidade oeste, diminuindo à medida que se desloca para o leste. A região do Agreste foi a que apresentou menores valores de S.

A ferramenta computacional desenvolvida sob forma de *plugin* do QGIS torna fácil fazer o recorte das características do solo e sua classificação para calcular os valores de CN e S, de forma a utilizá-los nos modelos que dependam desse parâmetro.

Como trabalhos futuros, objetiva-se ampliar a pesquisa utilizando mapeamento dos solos, seu uso e ocupação para todo o Brasil, o que potencializará o uso da ferramenta de forma muito mais ampla.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L.; SERRA, J. C. V. Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas. **Revista FAE**. v.20, n.1, p. 129 – 137, jan./jun. 2017.
- ALVES, G. J. **Aplicabilidade do método CN-SCS a uma bacia hidrográfica representativa dos latossolos no sul de MG**. 156 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.
- ANSA. **Falta de água afetará 5 bilhões de pessoas até 2050, dia ONU**. Época Negócios, 2018. Disponível em: < <https://epocanegocios.globo.com/Mundo/noticia/2018/03/falta-de-agua-afetara-5-bilhoes-de-pessoas-ate-2050-diz-onu.html> >. Acesso em: 02 jun. 2019.
- ARAÚJO FILHO, J. C. et al. **Levantamento de Reconhecimento de Baixa e Média Intensidade dos Solos do Estado de Pernambuco**. Boletim de pesquisa No 11. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2000. 382 p.
- ARÁUJO NETO, J. R. de et. al. **Otimização do número de curva (CN-SCS) para diferentes manejos na região semiárida, Ceará, Brasil**. Irriga, Botocatu, Edição Especial, p. 269-279, 2012.
- ASFORA, M. C., LIMA, M., LACERDA, M. R. S. Diagnóstico da seca 2011-2016 em Pernambuco: Impactos e políticas de mitigação. **Parcerias Estratégicas**. Brasília-DF, vol. 22, n. 44, p. 247-274, 2017.
- CALZAVARA, S. F.; FERNANDEZ, O. V. Q. Uso e ocupação do solo e número de curva (CN) na bacia hidrográfica do córrego Matilde Cuê, Marechal Cândido Rondon (PR). **Geoiंगा: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**, Maringá, v. 7, nº 1, p. 185 – 209, 2015.
- CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. Escoamento Superficial. **Hidrologia**. Rio de Janeiro, 2006. Cap. 7, p. 95-115.
- CIRILO, J. A., COSTA, W. D., PONTES, M., MAIA, A. Z. (1998). Barragem Subterrânea: Uma Forma Eficiente de Conviver com a Seca. **In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, São Paulo, 1998.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 5. ed., rev. ampl. - Brasília, DF: Embrapa, 2018. 590 p.
- EMBRAPA. **Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco**. Recife: Embrapa Solos UEP Recife/SPRRA-PE, 2010.
- FERRAZ, G. F. **Simulação hidrológica e hidrodinâmica do impacto de enchentes na bacia do rio Sirinhaém e avaliação de sistema de controle proposto**. 2019. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.



FRANCISCO, W. C. **Aspectos naturais do Estado de Pernambuco**. Brasil Escola, 2019. Disponível em: <<https://brasilestola.uol.com.br/brasil/aspectos-naturais-estado-pernambuco.htm>>. Acesso em: 20 de abril de 2019.

GÓES, V. C. **Simulação hidrológico-hidrodinâmica integrada ao geoprocessamento para avaliação da macrodrenagem em centros urbanos**. 2009. 152 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

GOMES, M. M. A. **Abordagem integrada de modelagem hidrológica e operação de barragens para avaliação da eficiência do controle de cheias na bacia do rio Capibaribe**. 2019. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

HAWKINS, R. H., HJELMFELT, A. T., e ZEVENBERGER, A. W. Runoff probability, storm depth, and curve numbers. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.111, n. 4, p. 330-340, 1985.

HOEFT, C. C. **NRCS Runoff Curve Number Hydrology, Development, Status and Updates**. Abr 21, 2016. Disponível em:<[https://acwi.gov/hydrology/minutes/nrcs\\_cn\\_method.pdf](https://acwi.gov/hydrology/minutes/nrcs_cn_method.pdf)>. Acesso em: 16 dezembro de 2018.

IBGE. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3. ed., Rio de Janeiro, 2013. 171 p.

IBGE. **Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil 2014-2016**. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências, 2018. 32 p.

LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; GALETI, P. A.; BERTOLINI, D.; LEPSCH, I. F.; OLIVEIRA, J. B. Nova abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços. **Simpósio sobre terraceamento agrícola**. Campinas, 1989. Fundação Cargill. p. 99-124.

LOU, R. F. **Modelagem hidrológica chuva-vazão e hidrodinâmica aplicada na bacia experimental do rio Piabanha/RJ**. 2010. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MOREIRA, I. A. **Modelagem hidrológica chuva-vazão com dados de radar e pluviômetros**. 2005. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidrológica) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

NRCS. Chapter 10: Estimation of direct runoff from storm rainfall. **In: National Engineering Handbook: Part 630, Hidrology**. 2004b. Disponível em:<<https://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/NEHhydrology/ch10.pdf>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2018.

\_\_\_\_\_. Chapter 7: Hydrology Soil Groups. **In: National Engineering Handbook: Part 630, Hidrology**. 2009. Disponível em:<<https://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/NEHhydrology/ch7.pdf>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2018.

\_\_\_\_\_. Chapter 9: Hydrologic Soil-Cover Complexes. In: **National Engineering Handbook: Part 630, Hydrology**. 2004a. Disponível em:< <https://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/NEHhydrology/ch9.pdf>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2018.

PAZ, A. R. **Hidrologia Aplicada**. Texto Básico para a disciplina ministrada na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Caxias do Sul, 2004. 138 f.

PINTO, N. L. S. et. al. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blücher, c1976. 278 p.

PONCE, V. M; HAWKINS, R. H. Runoff Curve Number: Has it Reached Maturity?. **Journal of Hydrologic Engineering**. v.1, n.1, p. 11-19, 1996.

QGIS. **QGIS – A liderança do SIG de código aberto**. 2019a. Disponível em:< [https://www.QGIS.org/pt\\_BR/site/about/index.html](https://www.QGIS.org/pt_BR/site/about/index.html)>. Acesso em: 02 jun. 2019.

QGIS. **QGIS Plugin Web Portal**. 2019b. Disponível em:< <https://plugins.QGIS.org/>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do serviço de conservação de solos dos Estados Unidos. Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.10, nº 4, p. 5-18, Out/Dez, 2005.

SARTORI, A. **Avaliação da classificação hidrológica do solo para a determinação do excesso de chuva do método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos**. 2004. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SARTORI, A. **Desenvolvimento de critérios para classificação hidrológica de solos e determinação de valores de referência para o parâmetro CN**. Campinas, 2010. 235 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

SOARES, M. R. G. J.; FIORI, C. O.; SILVEIRA, C. T.; KAVISKI, E. Eficiência do método curve number de retenção de água pluviais. **Mercator**, Fortaleza, v. 16, e16001, 2017.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Ed.UFRGS: 2002. 943 p.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. 2.ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005. 678 p.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, c1975. 245p.

## ANEXO 1 : MANUAL DE USO DO PLUGIN PARA OBTER O VALOR DA CAPACIDADE MÉDIA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO - S

1) O requisitos básicos para o plugin são:

- QGIS versão 2.
- Windows que suporte o QGIS.
- Arquivo “*ShapeFile*” da bacia de estudo com *Datum* Sirgas 2000.

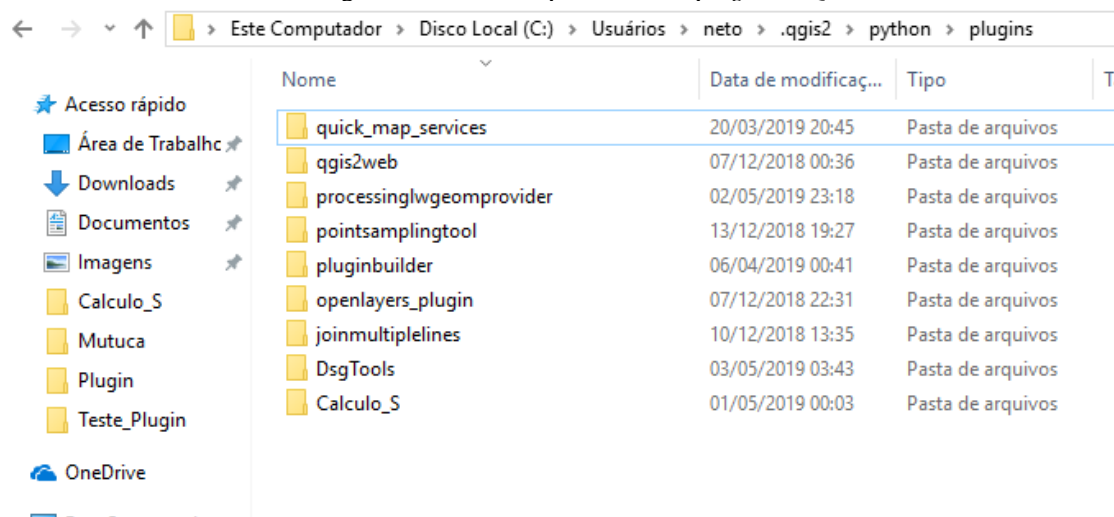
2) Objetivos do Plugin:

- O *Plugin* calcula o valor do potencial de acumulação de água (S) em mm para a região de interesse dentro do estado de Pernambuco.
- O dado de entrada é o “*shapefile*” com a região de estudo aberto no QGIS.

3) Instalação

O arquivo Rar com o plugin deve ser extraído na pasta de plugins do QGIS, que tem como padrão o destino “C:/usuários/nome/.QGIS2/Python/*plugins*”. A Figura 18 exemplifica a pasta para onde deve ser extraído o *plugin*.

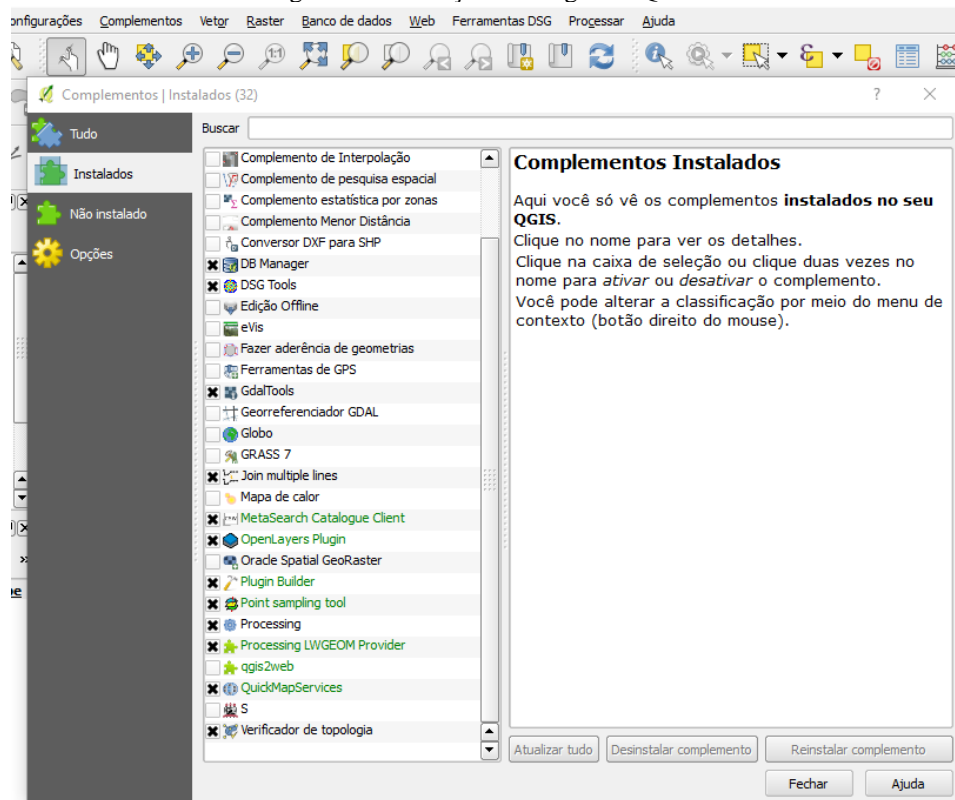
Figura 18 - Caminho para extrair o *plugin* no QGIS.



Fonte: O autor (2019).

Abrir o QGIS e ativar em *complementos – Gerenciar e instalar complementos – Instalados*. Irá aparecer o plugin para ativar com o nome “S” e símbolo da UFPE conforme figura a seguir. Marque a caixa para ativá-lo (Figura 19).

Figura 19 - Ativação do Plugin no QGIS.



Fonte: O Autor (2019).

Caso haja dificuldade para encontrar o caminho da pasta de instalação do *plugin*, basta olhar diretamente em algum *plugin* já instalado pelo repositório do QGIS, como na Figura 20.

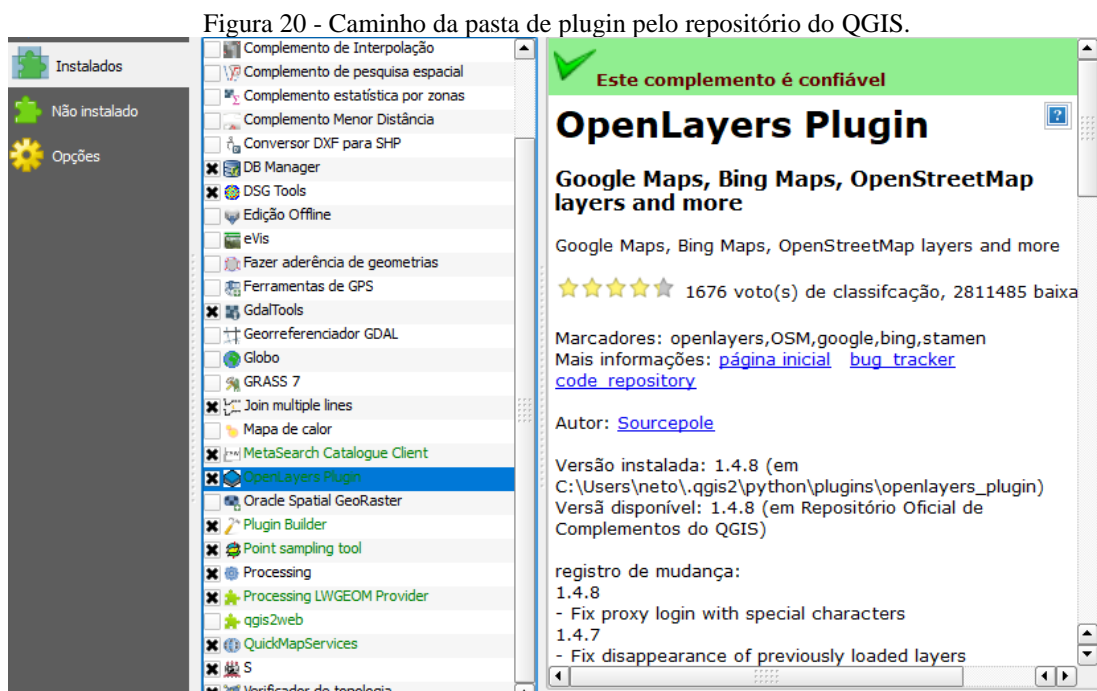


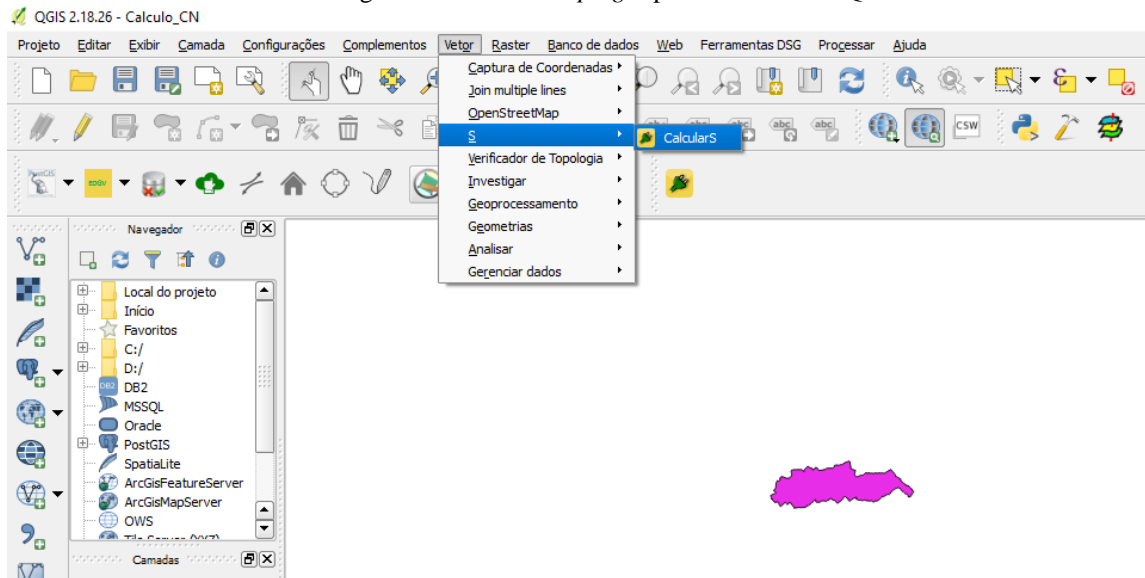
Figura 20 - Caminho da pasta de plugin pelo repositório do QGIS.

Fonte: O autor (2019).

#### 4) Utilizando o *plugin*

Para abrir o *plugin*, vá na aba *vetor* – *S* – *CalcularS*, conforme Figura 21.

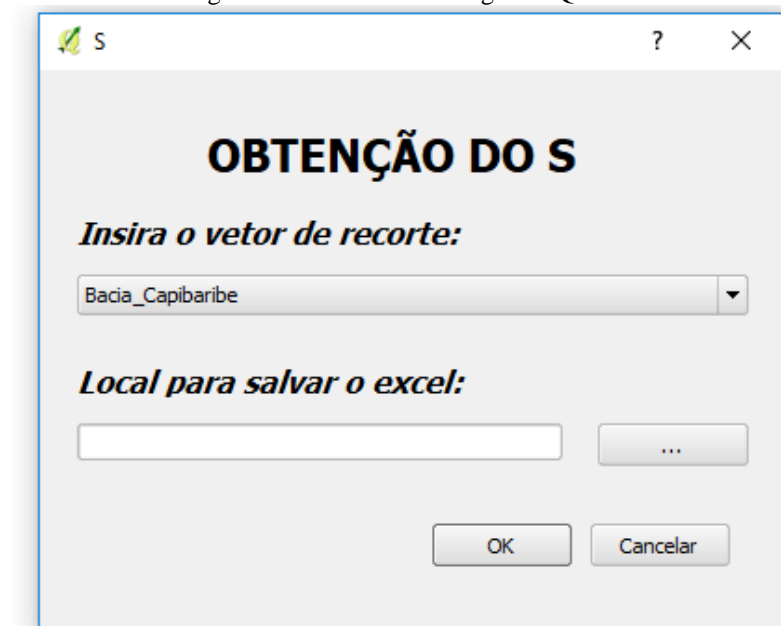
Figura 21 - Abrindo o *plugin* pela aba vetor do QGIS.



Fonte: O autor (2019).

Irá aparecer uma aba conforme Figura 22. Nela insere-se o vetor “*shapefile*” da bacia de estudo e o local onde deve salvar o arquivo Excel.

Figura 22 - Interface do Plugin no QGIS.



Fonte: O autor (2019).

Clicando no botão "...", irá aparecer o local a ser salvo. Coloca-se o nome do arquivo e .csv no final (Figura 23). Apertando o "Ok" irá executar o plugin.

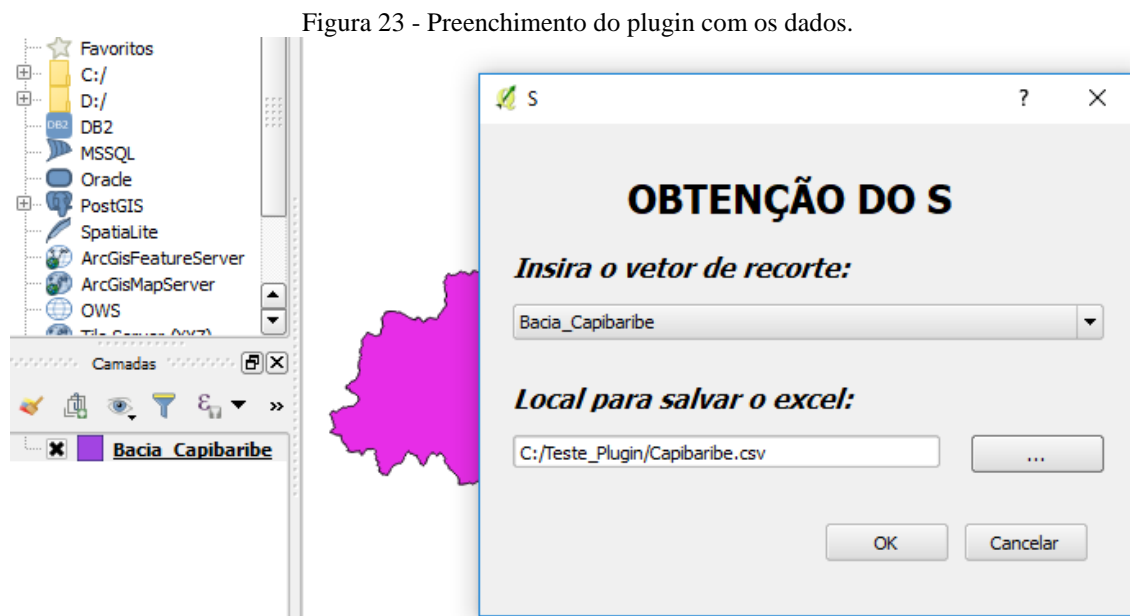


Figura 23 - Preenchimento do plugin com os dados.

Fonte: O autor (2019).

## 5) Resultados

Como resultado, um arquivo “*shapefile*” será criado na memória do computador, devendo ser salvo. Na sua tabela de tributos contém informações sobre a classificação hidrológica do solo, o uso e ocupação, o valor do CN e do S para cada polígono do mapa.

Será gerado um arquivo .csv na pasta destino com separador “,” e decimal “.”. Caso seja necessário, abrir o .csv com o bloco de notas substituindo “.” por “;” e “.” Por “;”. O arquivo csv conterá os dados do CN, área para cada elemento do mapa e os valores do CN e S médio para a bacia de estudo, como exemplificado na Figura 24.

Figura 24 - Arquivo .CSV com o CN médio e o valor do S médio para bacia.

	A	B	C	D	E
1	CN	Area(m2)	CNmed	S(mm)	
2	63	11246261	74,25488	88,06506	
3	83	442405,2			
4	81	5779111			
5	81	7906096			
6	84	1400807			
7	63	14793031			
8	60	1414568			
9	63	2995155			
10	59	2349227			
11	63	4399051			
12	81	1702707			
13	84	1039817			
14	83	1495883			
15	81	518754,6			
16	81	7720664			
17	84	727528			
18	83	135515,7			
19	81	1171511			
20	75	58862,13			
21	75	526089,1			

Fonte: O autor (2019).

## ANEXO 2 : ALGORITMO DO PLUGIN PARA DETERMINAÇÃO DO CN E S

```
# -*- coding: utf-8 -*-
```

```
"""
```

```
/*****
```

```
S
```

A QGIS plugin

Algoritmo para calcular o S com base nos método da Curva Número (CN) como forma de aplicação do TCC de José Bandim

```
-----
```

```
begin          : 2019-04-11
git sha        : $Format:%H$
copyright      : (C) 2019 by Jose Bandim
email          : netobandim@gmail.com
```

```
*****/
```

```
/*****
```

```
*
```

```
*
```

```
* This program is free software; you can redistribute it and/or modify *
```

```
* it under the terms of the GNU General Public License as published by *
```

```
* the Free Software Foundation; either version 2 of the License, or *
```

```
* (at your option) any later version. *
```

```
*
```

```
*
```

```
*****/
```

```
"""
```

```
from PyQt4.QtCore import QSettings, QTranslator, qVersion, QCoreApplication, QVariant
```

```
from PyQt4.QtGui import QAction, QIcon, QFileDialog
```

```
from qgis.core import *
```

```
from qgis.gui import *
```

```
import processing
```

```
# Initialize Qt resources from file resources.py
```

```
import resources
```



```

# Import the code for the dialog
from S_dialog import SDialog
import os.path

class S:
    """QGIS Plugin Implementation."""

    def __init__(self, iface):
        """Constructor.

        :param iface: An interface instance that will be passed to this class
            which provides the hook by which you can manipulate the QGIS
            application at run time.
        :type iface: QgsInterface
        """
        # Save reference to the QGIS interface
        self.iface = iface

        # initialize plugin directory
        self.plugin_dir = os.path.dirname(__file__)

        # initialize locale
        locale = QSettings().value('locale/userLocale')[0:2]
        locale_path = os.path.join(
            self.plugin_dir,
            'i18n',
            'S_{ }.qm'.format(locale))

        if os.path.exists(locale_path):
            self.translator = QTranslator()
            self.translator.load(locale_path)

            if qVersion() > '4.3.3':
                QCoreApplication.installTranslator(self.translator)

```

```

# Declare instance attributes
self.actions = []
self.menu = self.tr(u'&S')
# TODO: We are going to let the user set this up in a future iteration
self.toolbar = self.iface.addToolBar(u'S')
self.toolbar.setObjectName(u'S')

# noinspection PyMethodMayBeStatic
def tr(self, message):
    """Get the translation for a string using Qt translation API.

    We implement this ourselves since we do not inherit QObject.

    :param message: String for translation.
    :type message: str, QString

    :returns: Translated version of message.
    :rtype: QString
    """
    # noinspection PyTypeChecker,PyArgumentList,PyCallByClass
    return QApplication.translate('S', message)

def add_action(
    self,
    icon_path,
    text,
    callback,
    enabled_flag=True,
    add_to_menu=True,
    add_to_toolbar=True,
    status_tip=None,
    whats_this=None,

```

parent=None):

"""Add a toolbar icon to the toolbar.

:param icon\_path: Path to the icon for this action. Can be a resource path (e.g. ':/plugins/foo/bar.png') or a normal file system path.

:type icon\_path: str

:param text: Text that should be shown in menu items for this action.

:type text: str

:param callback: Function to be called when the action is triggered.

:type callback: function

:param enabled\_flag: A flag indicating if the action should be enabled by default. Defaults to True.

:type enabled\_flag: bool

:param add\_to\_menu: Flag indicating whether the action should also be added to the menu. Defaults to True.

:type add\_to\_menu: bool

:param add\_to\_toolbar: Flag indicating whether the action should also be added to the toolbar. Defaults to True.

:type add\_to\_toolbar: bool

:param status\_tip: Optional text to show in a popup when mouse pointer hovers over the action.

:type status\_tip: str

:param parent: Parent widget for the new action. Defaults None.

:type parent: QWidget

:param whats\_this: Optional text to show in the status bar when the mouse pointer hovers over the action.

```

:returns: The action that was created. Note that the action is also
        added to self.actions list.
:rtype: QAction
"""

# Create the dialog (after translation) and keep reference
self.dlg = SDialog()

icon = QIcon(icon_path)
action = QAction(icon, text, parent)
action.triggered.connect(callback)
action.setEnabled(enabled_flag)

if status_tip is not None:
    action.setStatusTip(status_tip)

if whats_this is not None:
    action.setWhatsThis(whats_this)

if add_to_toolbar:
    self.toolbar.addAction(action)

if add_to_menu:
    self.iface.addPluginToVectorMenu(
        self.menu,
        action)

self.actions.append(action)

return action

def initGui(self):
    """Create the menu entries and toolbar icons inside the QGIS GUI."""

```

```

icon_path = './plugins/S/icon.png'
self.add_action(
    icon_path,
    text=self.tr(u'CalculaS'),
    callback=self.run,
    parent=self.iface.mainWindow())

def unload(self):
    """Removes the plugin menu item and icon from QGIS GUI."""
    for action in self.actions:
        self.iface.removePluginVectorMenu(
            self.tr(u'&S'),
            action)
        self.iface.removeToolBarIcon(action)
    # remove the toolbar
    del self.toolbar

def seleccionar_saida(self):
    filename = QFileDialog.getSaveFileName(self.dlg, "Select output file ", "", "*.csv")
    self.dlg.lineEdit.setText(filename)

def run(self, iface):
    """Run method that performs all the real work"""
    #combobox1
    layers = self.iface.legendInterface().layers()
    layer_list = []
    del layer_list[:]
    self.dlg.comboBox.clear()
    for layer in layers:
        layer_list.append(layer.name())
    self.dlg.comboBox.addItem(layer_list)
    #lineedit
    self.dlg.lineEdit.clear()

```

```

self.dlg.pushButton.clicked.connect(self.selecionar_saida)
localSalvo = self.dlg.lineEdit.text()
# show the dialog
self.dlg.show()
# Run the dialog event loop
result = self.dlg.exec_()
# See if OK was pressed
if result:
    localSalvo = self.dlg.lineEdit.text()
    # Do something useful here - delete the line containing pass and
    # substitute with your code.
    #Adicionando arquivo shapefile
    Corte = self.dlg.comboBox.currentIndex()
    corte_layer = layers[Corte]
    SSS = os.path.dirname(__file__)
    if self.dlg.checkBox.isChecked():
        SSS2 = os.path.join(SSS, 'Shape//Uso_solo.shp')
        print "seleccionado PE"
    elif self.dlg.checkBox_2.isChecked():
        SSS2 = os.path.join(SSS, 'Shape//Solos_uso2.shp')
        print "Seleccionado Brasil"
    else:
        return
    print SSS2
    Solos_SSS = QgsVectorLayer(SSS2, "Uso_solo", "ogr")
    QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(Solos_SSS)
    Cortado = processing.runalg('qgis:clip', Solos_SSS , corte_layer, None)
    QgsMapLayerRegistry.instance().removeMapLayer(Solos_SSS)
    #Cortado = processing.runalg("qgis:reprojectlayer", Cortado_2, "epsg:31984",
'memory')
    buffLyr = QgsVectorLayer(Cortado['OUTPUT'], "cortado", "ogr")
    buffLyr.dataProvider().addAttributes([QgsField("Area", QVariant.Double)])
    buffLyr.updateFields()
    buffLyr.startEditing()

```

```

idx = buffLyr.fieldNameIndex( "Area" )
# Use standard QgsExpression to calculate area for each feature
e = QgsExpression( '$area*12337835167.33758' ) #como tá no sirgas 2000 área em
# graus X Graus número para converter em metros quadrados
e.prepare( buffLyr.pendingFields() )
for f in buffLyr.getFeatures():
    f[idx] = e.evaluate(f)
    buffLyr.updateFeature(f)
# Save the selected layer
buffLyr.commitChanges()
output_file = open(localSalvo, 'w')
fields = buffLyr.pendingFields()
fieldnames = [field.name() for field in fields]
line = 'CN, Area(m2), CNmed, S(mm)\n'
unicode_line = line.encode('utf-8')
output_file.write(unicode_line)
soma1 = 0
for f in buffLyr.getFeatures():
    if f['Area'] == None:
        soma1 += 0
    else:
        soma1 += f['Area']*f['CN']
soma2=0;

for f in buffLyr.getFeatures():
    if f['Area'] == None:
        soma2 += 0
    else:
        soma2 += f['Area']

CN = soma1/soma2

Smed = 25400/CN-254

```

```

print CN

i = 1

for f in buffLyr.getFeatures():
    if i==1:
        if f['Area'] == None:
            line = '%f, %f, %f, %f\n' %(f['CN'], 0, CN, Smed)
            unicode_line = line.encode('utf-8')
            output_file.write(line)
            i += 1
        else:
            line = '%f, %f, %f, %f\n' %(f['CN'], f['Area'], CN, Smed)
            unicode_line = line.encode('utf-8')
            output_file.write(line)
            i += 1
    else:
        if f['Area'] == None:
            line = '%f, %f\n' %(f['CN'], 0)
            unicode_line = line.encode('utf-8')
            output_file.write(line)
        else:
            line = '%f, %f\n' %(f['CN'], f['Area'])
            unicode_line = line.encode('utf-8')
            output_file.write(line)

output_file.close()
QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(buffLyr)
pass

```