

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

INSTITUTO DE GEOGRAFIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO GEOGRAFIA E GESTÃO DO TERRITÓRIO

**ABSTRAÇÃO INICIAL E VALORES CN EM DIFERENTES USOS DA
TERRA NO CERRADO COM UTILIZAÇÃO DE UM SIMULADOR DE
CHUVA**

FÁBIO CARVALHO

UBERLÂNDIA/MG

2018

FÁBIO CARVALHO

**ABSTRAÇÃO INICIAL E VALORES CN EM DIFERENTES USOS DA
TERRA NO CERRADO COM UTILIZAÇÃO DE UM SIMULADOR DE
CHUVA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Geografia.

Área de Concentração: Geografia e Gestão do Território.

Orientador: Prof. Dr. Sílvio Carlos Rodrigues

Uberlândia/MG

INSTITUTO DE GEOGRAFIA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

C331a Carvalho, Fábio, 1981-
2018 Abstração inicial e valores CN em diferentes usos da terra no
 cerrado com utilização de um simulador de chuva [recurso eletrônico] /
 Fábio Carvalho. - 2018.

 Orientador: Sílvio Carlos Rodrigues.
 Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa
de Pós-Graduação em Geografia.
 Modo de acesso: Internet.
 Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2019.607>
 Inclui bibliografia.
 Inclui ilustrações.

 1. Geografia. 2. Escoamento superficial. 3. Chuvas - Escoamento. 4.
Chuvas - Cerrado. I. Rodrigues, Sílvio Carlos, 1965- (Orient.) II.
Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em
Geografia. III. Título.

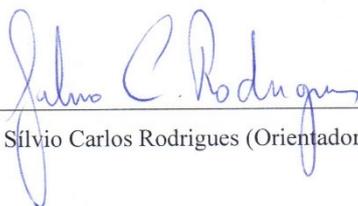
CDU: 910.1

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Programa de Pós-Graduação em Geografia

FÁBIO CARVALHO

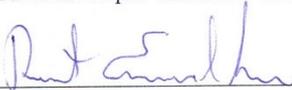
“ABSTRAÇÃO INICIAL E VALORES CN EM DIFERENTES USOS DA
TERRA”



Professor Doutor Silvio Carlos Rodrigues (Orientador) - UFU



Professor Doutor Edivaldo Lopes Thomaz – UNICENTRO - PR



Prof. Doutor Renato Emanuel Silva – IFTM - Patrocínio - MG



Professor Doutor Alan Silveira – UFU – Monte Carmelo - MG



Professor Doutor Jorge Luis Silva Brito – UFU

Data: 13/12 de 2018

Resultado: Aprovada

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha esposa, aos meus filhos, amigos e a todos que tenham colaborado para realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a oportunidade de realizar um curso de doutorado que possibilitou o aperfeiçoamento dos meus conhecimentos. Meus agradecimentos ao Instituto Federal de Goiás pela licença – Portaria Nº 055 de 06 de janeiro de 2017, pela bolsa de estudo do Programa Institucional de Bolsas de Qualificação para Servidores do IFG (PIQS) e agradeço a Universidade Federal de Uberlândia pela parceria com o Instituto Federal de Goiás no programa de Doutorado Interinstitucional (DINTER). Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ – 302654/2015-1 e a CAPES/DINTER. Quero agradecer imensamente ao prof. Dr. Sílvio Carlos Rodrigues pela orientação na realização desta Tese. Agradeço a Jefferson Gomes Confessor pela amizade e parceria, colaborando para a coleta dos dados e realização deste trabalho. Agradeço aos funcionários, aos professores da Fazenda do Glória e imensamente aos funcionários Flávio Pereira da Costa e Marcello Aparecido Sozzo. A todos muito obrigado!!!

RESUMO

O estudo de condições de resposta ao processo de precipitação e escoamento superficial é um dos desafios em estudos hidrogeomorfológicos. Entre estudos existentes, o Método CN tornou-se importante devido à sua facilidade de aplicação a partir da utilização de parâmetros físicos, de uso e ocupação da terra e de dados de precipitação, estimando o escoamento superficial e o armazenamento potencial de bacias hidrográficas, fornecendo informações hidrológicas para a tomada de decisões por gestores e pesquisadores. O objetivo deste trabalho consiste em obter o volume de abstração inicial (Ia), o índice de abstração inicial e o valor CN em usos e ocupação da terra encontrados em bacias hidrográficas do Cerrado por meio do uso de simulador de chuva com diferentes intervalos de tempo e mesma intensidade. Os experimentos com simulador de chuva foram realizados na bacia hidrográfica do córrego Glória, município de Uberlândia-MG. A partir dos dados do volume de precipitação e do volume de escoamento superficial, objetivou-se determinar a capacidade de armazenamento de água do simulador de chuva e a capacidade de armazenamento de água com fórmulas, e posteriormente, determinar os valores CN e os índices de abstração inicial. Os valores CN contidos em tabelas e gráficos do Natural Resources Conservation Service (NRCS) consideram o índice de Ia como 20% da capacidade máxima de armazenamento de água do solo. Todavia, existem variações neste índice de Ia indicando que o valor de 5% como o mais adequado em diversas condições. Valores CN e índices de Ia podem ser conseguidos mediante dados de precipitação e de escoamento superficial obtidos em bacias hidrográficas e por experimentos com chuvas artificiais, fornecendo informações locais. Os resultados do simulador de chuva evidenciaram variações nos índices de Ia considerando os diversos usos e ocupação da terra, com índices de 0,02 a índices superiores a 0,5. Quanto maior o volume de chuva menores foram os índices de Ia do simulador de chuva (λ_{si}) e nos índices de Ia da fórmula que considera a Ia como 20% da capacidade de armazenamento de água do solo (λ_{p-q}). No uso da terra Café e Cerrado, verificaram-se variações consideráveis no escoamento superficial entre as calhas, dado que interfere na capacidade de armazenamento de água do solo e nos valores CN, fato atribuído ao escoamento pelo tronco (Cerrado). O volume de precipitação interfere nos valores CN e nos índices de abstração inicial. O grupo hidrológico do solo (HSG) foram 'D' – braquiária, milho, soja e estrada, e 'C' no café e cerrado. Os valores CN obtidos a partir da capacidade de armazenamento de água do solo do simulador de chuva (CN_{si}) foram mais próximos aos valores CN tabelados nas condições antecedentes de umidade II ou III (foram usadas três condições antecedentes de umidade I, II e III, e quanto maior a condição antecedente maiores são os valores CN), e o valor CN obtido com a capacidade de armazenamento de água do solo que considera a $Ia=0,2 \cdot S$ (CN_{p-q}) foram próximos aos valores CN tabelado na condição antecedente de umidade I.

Palavras-chave: Escoamento superficial; Método SCS-CN; Simulador de Chuva; Cerrado.

ABSTRACT

The study of response conditions to the process of precipitation and surface runoff is one of the challenges in hydrogeomorphological studies. Among existing studies, the CN method has become important due to its ease of application from the use of physical parameters, land use and occupation and precipitation data, estimating the runoff and potential storage of watersheds, providing hydrological information for decision-making by managers and researchers. The objective of this work is to obtain the initial abstraction volume (I_a), the initial abstraction index and the CN value in land use and land occupation found in the Cerrado watersheds using a rainfall simulator with different intervals of time and intensity. The rainfall simulator experiments were carried out in the Glória stream water catchment area, in the municipality of Uberlândia-MG. This watershed has several uses and occupation of land. From the data of the volume of precipitation and the volume of surface runoff, the water storage capacity of the rainfall simulator and the storage capacity of water with formulas were determined and, later, used to determine the CN values and the abstraction initial indices. The CN values contained in tables and graphs of the Natural Resources Conservation Service (NRCS) consider the I_a index as 20% of the maximum water storage capacity of the soil. However, there are variations in this index of I_a indicating that the value of 5% as the most adequate in several conditions. CN values and I_a indexes can be obtained by means of precipitation and runoff data obtained in river basins and by experiments with artificial rains, providing local information. The results of the rainfall simulator showed variations in the indices of I_a considering the different uses and occupation of the land, with indexes of 0.02 at indices higher than 0.5. The higher rainfall volume was the rainfall I_a (λ_{si}) indexes and the I_a indices of the formula consider I_a as 20% of the soil water storage capacity (λ_{p-q}). In the use of the Coffee and Cerrado land, there were considerable variations in the runoff between the gutters, since it interferes with the soil water storage capacity and the CN values, a fact attributed to the trunk flow (Cerrado). The precipitation volume interferes with the CN values and the initial abstraction indexes. The soil hydrological group (HSG) were 'D' - brachiaria, corn, soybean and road, and 'C' in coffee and cerrado. The CN values obtained from the soil water storage capacity of the rainfall simulator (CN_{si}) were closer to the CN values tabulated in the antecedent conditions of humidity II or III (three antecedent humidity conditions I, II and III were used, and the higher the antecedent condition, the higher the CN values), and the CN values obtained with the water storage capacity of the soil that considers $I_a = 0.2 \cdot S$ (CN_{p-q}) were close to the CN values tabulated in the condition antecedent of humidity I.

Keywords: Surface runoff; SCS-CN method; Rainfall Simulator; Cerrado.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores CN para bacias hidrográficas de usos da terra rurais	40
Tabela 2 – Valores CN para bacias hidrográficas com usos da terra urbanas e suburbanas	41
Tabela 3 – Determinação da condição antecedente de umidade em razão da precipitação acumulada nos 5 dias anteriores	47
Tabela 4 – Localização e grupo hidrológico do solo (HSG) pontos dos testes de simulação de chuva.....	85
Tabela 5 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial, capacidade de armazenamento de água do solo, índices de abstração inicial e valor CN para a cultura do Milho	102
Tabela 6 – Índice de abstração inicial, capacidade de armazenamento de água do solo, e valor CN para o uso Braquiária – outono-inverno.....	112
Tabela 7 – Índice de Ia, S e CN para o uso Braquiária – primavera-verão	115
Tabela 8 – Índice de Ia, S e CN para o uso da terra Braquiária – primavera-verão	118
Tabela 9 – Índice de Ia, S e CN para o uso Braquiária – primavera-verão	119
Tabela 10 – Índice de Ia, S e CN para o uso Café – outono-inverno	123
Tabela 11 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial do café – período do outono-inverno	125
Tabela 12 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – período primavera-verão	127
Tabela 13 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – período primavera-verão	130

Tabela 14 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – período outono-inverno	133
Tabela 15 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – período outono-inverno	136
Tabela 16 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – período outono-inverno	138
Tabela 17 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – período outono-inverno	141
Tabela 18 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – período outono-inverno	143
Tabela 19 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – primeira simulação primavera-verão	145
Tabela 20 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – segunda simulação primavera-verão	147
Tabela 21 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – primeira simulação uso da terra Estrada	150

Tabela 22 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – segunda simulação uso da terra Estrada.....	152
Tabela 23 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – primeira simulação uso da terra Soja.....	155
Tabela 24 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – segunda simulação uso da terra Soja.....	157
Tabela 25 – Resultado da capacidade de armazenamento de água do solo, da abstração inicial, do valor CN e dos índices de abstração inicial para a cultura do Milho em localidades do estado de Iowa (EUA) nas estações do ano verão e outono	169
Tabela 26 – Resultado da capacidade de armazenamento de água do solo, da abstração inicial, do valor CN e dos índices de abstração inicial para a cultura da Soja em localidades do estado de Iowa (EUA) nas estações do ano verão e outono	172

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação entre a abstração inicial e a capacidade de armazenamento de água no solo	31
Figura 2 – Gráfico representando o SCS - Curve Number.....	37
Figura 3 – Gráfico que apresenta relação entre o valor CN e a capacidade de armazenamento de água do solo	38
Figura 4 – Climograma da cidade de Uberlândia – período de 1997 a 2009	71
Figura 5 – Organograma com as etapas da pesquisa para a obtenção dos dados.....	79
Figura 6 – Direita – Simulador de chuva instalado no uso da terra braquiária; Esquerda – Desenho de um simulador de chuva e os seus componentes.....	88
Figura 7 – Moto bomba e caixa d’água utilizada nos experimentos	89
Figura 8 – Calibração do simulador de chuva	90
Figura 9 – Instalação da parcela experimental da cultura do Milho.....	91
Figura 10 – Parcela experimental instalada no uso da terra Braquiária e ferramenta auxiliar de corte	92
Figura 11 – Uso da terra pastagem - Braquiária.....	93
Figura 12 – Aspectos do uso da terra Cerrado.....	95
Figura 13 – Simulação no uso da terra Café.....	96
Figura 14 - Simulação uso da terra Soja.....	98
Figura 15 – Simulação no uso da terra Estrada	99
Figura 16 – Aspectos do desenvolvimento da cultura do Milho	101
Figura 17 – Parcelas experimentais e calhas coletoras instaladas no uso Braquiária.....	112
Figura 18 – Esquerda - Imagem apresentando aspectos do uso da terra Café; Direita – Fotografia mostrando instantes do processo de simulação	122
Figura 19 – Uso cerrado em regeneração	132

Figura 20 – Uso terra Estrada.....	149
Figura 21 – Aspectos da cultura da Soja	154

LISTA DE EQUAÇÕES

Eq. 1.....	27
Eq. 2.....	28
Eq. 3.....	28
Eq. 4.....	28
Eq. 5.....	28
Eq. 6.....	29
Eq. 7.....	29
Eq. 8.....	30
Eq. 9.....	31
Eq. 10.....	31
Eq. 11.....	32
Eq. 12.....	49
Eq. 13.....	54
Eq. 14.....	54
Eq. 15.....	58
Eq. 16.....	59
Eq. 17.....	81
Eq. 18.....	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMC – Condição antecedente de umidade;

ARC – Condição antecedente de escoamento superficial;

CN – Valor CN;

CN_{p-q} – Valor CN com a capacidade de armazenamento de água do solo com $I_a=0,2 \cdot S$;

CN_{si} – Valor CN com a capacidade de armazenamento de água do solo do simulador de chuva;

CN_{tb} – Valor CN tabelado;

DCN – Valor CN derivado;

HSG – Grupo hidrológico do solo;

I_a – Abstração inicial;

NEH – *National Engineering HandBook*;

NRCS – *Natural Resources Conservation Service*;

P – Precipitação;

Q – Escoamento superficial;

S – Capacidade de armazenamento de água do solo;

SCS – *Soil Conservation Service*;

S_{p-q} – Capacidade de armazenamento de água do solo com $I_a=0,2 \cdot S$;

S_{si} – Capacidade de armazenamento de água do solo do simulador de chuva;

S_λ – Capacidade de armazenamento de água do solo com o índice de abstração inicial do simulador de chuva;

λ – Índice de abstração inicial ou relação $I_a=0,2 \cdot S$;

λ_{p-q} – Índice de abstração inicial com $I_a=0,2 \cdot S$;

λ_{si} – Índice de abstração inicial do simulador de chuva;

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
JUSTIFICATIVAS E PROBLEMÁTICA	18
OBJETIVOS	23
CAPÍTULO 1 - REFERENCIAL TEÓRICO - CONCEITUAL BÁSICO	24
1.1 Histórico e procedimentos do método Curve Number (SCS-CN)	24
1.2 Parâmetros do Método SCS-CN	33
1.2.1 Variáveis e os fatores do parâmetro CN	39
1.2.1.1 <i>Uso do solo e práticas de cultivo</i>	39
1.2.1.2 <i>Condição hidrológica</i>	42
1.2.1.3 <i>Grupo hidrológico do solo</i>	43
1.2.1.4 <i>Condição antecedente de umidade (AMC) e condição antecedente de escoamento superficial (ARC)</i>	45
1.3 Determinação do valor CN com dados ‘P-Q’	48
1.4 Índice de abstração inicial (λ)	61
1.5 Utilização do simulador de chuva para determinação dos parâmetros do Método SCS-CN	66
CAPÍTULO 2 – PROCEDIMENTOS ADOTADOS PARA A OBTENÇÃO DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO, ESCOAMENTO SUPERFICIAL, ABSTRAÇÃO INICIAL, CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DO SOLO E VALOR CN	69
2.1 Descrição física da área de estudo	69
2.2 Procedimentos para determinar I_a, λ, S e CN	78
2.3 Definição do grupo hidrológico do solo e da condição hidrológica	84
2.4 Simulador de chuva, equipamentos e materiais utilizados nos testes de simulação de chuva	86

2.5 Calibração do simulador de chuva e precipitação total	89
2.5.1 Escoamento superficial e volume de abstração inicial no Milho	90
2.5.2 Escoamento superficial e volume de abstração inicial no uso da terra Braquiária	93
2.5.3 Escoamento superficial e volume de abstração inicial no uso da terra Cerrado	94
2.5.4 Escoamento superficial e volume de abstração inicial no uso da terra Café	96
2.5.5 Escoamento superficial e volume de abstração inicial no uso da terra Soja.....	97
2.5.6 Escoamento superficial e volume de abstração inicial no uso da terra Estrada	98

CAPÍTULO 3 – ESCOAMENTO SUPERFICIAL, ABSTRAÇÃO INICIAL, CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DO SOLO E VALORES CN PARA USOS DA TERRA COM A UTILIZAÇÃO DE SIMULADOR DE CHUVA.... 100

3.1 Uso da terra – Milho	100
3.2 Uso da terra – Braquiária.....	111
3.2.1 Simulação Braquiária – outono-inverno	112
3.2.2 Primeira simulação Braquiária – primavera-verão	115
3.2.3 Segunda simulação Braquiária – primavera-verão	117
3.2.4 Terceira simulação Braquiária primavera-verão	119
3.3 Uso da terra – Café	122
3.3.1 Primeira simulação – período do outono-inverno	122
3.3.2 Segunda simulação – período do outono-inverno	124
3.3.3 Primeira simulação – primavera-verão	127
3.3.4 Segunda simulação – primavera-verão	129
3.4 Uso da terra – Cerrado em regeneração	132
3.4.1 Primeira simulação – outono-inverno	133
3.4.2 Segunda simulação – outono-inverno	136
3.4.3 Terceira simulação – outono-inverno.....	137

3.4.4 Quarta simulação – outono-inverno	140
3.4.5 Quinta simulação – outono-inverno	143
3.4.6 Primeira simulação – primavera-verão	144
3.4.7 Segunda simulação – primavera-verão	146
3.5 Uso da terra – Estrada.....	148
3.5.1 Primeira simulação - uso da terra Estrada.....	149
3.5.2 Segunda simulação - uso da terra Estrada.....	152
3.6 Uso da terra – Soja.....	153
3.6.1 Primeira simulação – cultura da Soja.....	155
3.6.2 Segunda simulação – cultura da Soja.....	157
CAPÍTULO 4 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS COM O SIMULADOR DE CHUVA	159
CONCLUSÕES.....	194
REFERÊNCIAS.....	198

INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são utilizadas em estudos geográficos que subsidiam estratégias de planejamento territorial dos Estados. Os diversos usos e ocupação da terra em uma bacia hidrográfica alteram as configurações naturais do sistema hidrológico, como alterações no ciclo hidrológico, podendo provocar inundações, erosões e deslizamentos, acarretando em tragédias para a população, afetando todo o ecossistema. As diversas atividades antrópicas em áreas urbanas e rurais, provocam alterações nos fatores e elementos naturais atuantes no ciclo hidrológico. O estudo e o conhecimento das características hidrológicas e hidrogeológicas das bacias hidrográficas associadas às diferentes formas de uso e ocupação da terra são fundamentais para o planejamento – ambiental, regional e urbano.

Dados hidrológicos e principalmente dados detalhados de escoamento superficial em bacias hidrográficas do Cerrado são escassos. Sendo assim, métodos de conhecimento do escoamento superficial desenvolvidos em outras condições climáticas são aplicados para a determinação do escoamento superficial. Entretanto, os resultados são questionáveis, visto que estes métodos foram elaborados a partir de estudos em regiões de clima temperado, como o Método SCS-CN (USDA-NRCS, 2002, 2004a, 2004b, 2009; WOODWARD et al., 2002).

A obtenção de dados de escoamento superficial no território brasileiro é necessária na definição de estratégias de manejo e conservação do solo e da água, uma vez que os processos erosivos em vertentes estão altamente associados à precipitação pluviométrica e à consequente formação do escoamento superficial. Neste sentido, justifica-se a criação de modelos representativos do processo de escoamento superficial e da infiltração de água em vertentes de bacias hidrográficas para as condições climáticas do território brasileiro, o que auxiliaria na elaboração de estratégias e na execução de propostas de gestão do meio ambiente.

Modelos bidimensionais e unidimensionais são usados para representação do escoamento superficial. Entretanto, na elaboração destes modelos uma série de informações são requeridas para a obtenção do escoamento superficial, como o uso e ocupação da terra, dados climatológicos, geológicos, geomorfológicos e do tipo de solo. Mas, críticas são apontadas para esses modelos, pois, os mesmos são sensíveis aos processos de evapotranspiração e as alterações no solo, e a quantidade de eventos pluviométricos que os modelos representam podem não evidenciar o escoamento superficial e os prováveis processos erosivos decorrentes.

O escoamento superficial pode ser conhecido mediante equações de infiltração, de índices e de relações funcionais, a exemplo da metodologia proposta pelo Serviço de Conservação de Solos (*SCS*). O Método *SCS-CN* desenvolvido pelo *SCS* (EUA), atualmente denominado *Natural Resources Conservation Service (NRCS)*, vinculado ao Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (*USDA*), tem como objetivo determinar o volume de escoamento superficial e a capacidade de armazenamento de água do solo em pequenas bacias hidrográficas.

JUSTIFICATIVAS E PROBLEMÁTICA

Frequentemente o Método *SCS-CN* é empregado para estimar o escoamento superficial em bacias hidrográficas por engenheiros e pesquisadores, entretanto, como foi desenvolvido em condições edafoclimáticas do território dos Estados Unidos, os parâmetros utilizados pela metodologia não apresentam dados com percentual de erro mínimo, como, por exemplo, o índice da abstração inicial (20% da capacidade de armazenamento de água do solo - *S* -) ser muito elevado para as condições físicas e climáticas de regiões tropicais, incluindo grande parte do território do Brasil. Também, os índices de abstração inicial (*Ia*) podem variar devido a diversos fatores como a intensidade da precipitação, o uso e ocupação da terra ou ao longo do ano devido as alterações sazonais da temperatura e/ou da umidade do solo.

Apesar das críticas quanto ao Método SCS-CN, o mesmo é amplamente incorporado aos programas computacionais, como o TR-20, o TR-50, o HEC-HMS, o ArcCN-Runoff que objetivam conhecer o escoamento superficial e o armazenamento de água em um determinado solo (DE VILLARÁN SAN JUAN, 2006). O modelo proposto no Método SCS-CN, em princípio foi desenvolvido para as necessidades de avaliar os efeitos das mudanças no uso e ocupação da terra no que concerne aos aspectos hidrológicos em pequenas bacias hidrográficas.

No Brasil e em várias outras regiões a utilização do Método SCS-CN tornou-se frequente, todavia, as informações sobre a abstração inicial no território brasileiro são escassas, a não ser por exceções como o trabalho apresentado no artigo de Mello et al. (2003). Sendo assim, há possibilidades de ajustes (ou melhor estimativa) nos índices de abstração inicial em determinados usos e ocupação da terra no Cerrado para que o escoamento superficial possa ser melhor estimado? E se sim, portanto, seria possível determinar novos valores CN (parâmetro fundamental do Método SCS-CN) para os usos e ocupação da terra encontrados no Cerrado, tornando-se uma alternativa para os valores CN encontrados em tabelas e gráficos do *Natural Resources Conservation Service* (NRCS).

Alterações nos índices de abstração inicial e na capacidade de armazenamento de água do solo levam, conseqüentemente, a mudanças nos próprios valores CN, pois, os valores CN das tabelas do *NRCS* considera a abstração como 20% da capacidade de armazenamento de água do solo, ou seja, $I_a = 0,2 \cdot S$. Portanto, se novos índices de abstração inicial são obtidos, isto leva a mudanças na própria capacidade de armazenamento de água do solo e nos valores CN. Portanto, considerando-se novos índices de abstração inicial novos valores CN devem ser obtidos, e com isso podendo levar a uma melhor estimativa do escoamento superficial e da capacidade de armazenamento de água do solo. Os valores CN e os índices de I_a obtidos a partir de procedimentos empíricos podem melhorar a aplicabilidade da metodologia do *NRCS* na região do Cerrado? O uso de simuladores de chuva para a obtenção de dados de abstração

inicial, valores CN e da capacidade de armazenamento de água do solo podem tornar-se uma alternativa para a obtenção deste tipo de dado que é comumente obtido a partir de dados naturais? Os valores CN, Ia e S obtidos por intermédio de chuvas naturais (ou simuladores de chuva) são diferentes dos valores originalmente adotados e contidos em gráficos e tabelas do NRCS? Há diferentes índices de abstração inicial para os usos e ocupação da terra agrícola e de vegetação natural no Cerrado Brasileiro? Se há índices de abstração inicial para os diferentes usos e ocupação da terra no Cerrado brasileiro seria necessário a definição de novos valores CN para uma melhor aplicação da metodologia.

Estudos podem fornecer alternativas aos valores dos parâmetros e dos índices originalmente adotados pelo Método SCS-CN. Inúmeras pesquisas são realizadas com a finalidade de obtenção de dados de abstração inicial e do valor CN, o que pode levar a uma melhora na estimativa do escoamento superficial e da capacidade de armazenamento de água do solo, contribuindo para uma melhor gestão das bacias hidrográficas e do meio ambiente (BALTAS; DERVOS; MIMIKOU, 2007; D'ASARO; GRILLONE, 2010, 2012, 2015; ELHAKEEM; PAPANICOLAOU, 2009; JIANG, 2001; MELLO et al., 2003). Pesquisas devem ser realizadas a fim de comprovar ou refutar a aplicação da metodologia com os parâmetros adotados originalmente, pois, se tratando de uma metodologia incorporada a *software* como ArcCN-Runoff, TR-50, TR-55 que são ferramentas amplamente utilizadas, necessita-se precisão na determinação de seus parâmetros.

Segundo Ajmal e Kim (2015), a otimização dos índices de abstração inicial e dos valores CN a partir do emprego do Método dos Mínimos Quadrados que utiliza dados de precipitação e de escoamento superficial, fornece uma melhor precisão dos dois parâmetros e consequentemente, uma melhor estimativa do escoamento superficial. A precipitação – (que indica as características meteorológicas incidentes na bacia hidrográfica) – e o escoamento superficial – (que indica as características da produção do escoamento superficial da bacia

hidrográfica) – fornecem dados representativos dos índices de abstração inicial e dos valores CN, se comparados aos valores CN que são obtidos nas tabelas do *NRCS* e ao índice de abstração inicial adotado oficialmente. Portanto, recomenda-se em projetos hidrológicos, quando os dados de precipitação e de escoamento superficial estiverem disponíveis, a calibração dos índices de abstração inicial e dos valores CN para posteriormente empregar-se o Método SCS-CN para a estimativa do escoamento superficial da bacia hidrográfica em questão, pois, os índices de abstração inicial, e conseqüentemente, os valores CN são considerados parâmetros regionais e climáticos.

Neste sentido, Hawkins (1993) afirma haver uma dificuldade de selecionar valores CN nas tabelas do *National Engineering Handbook* - NEH-4, pois, aplicação da Equação Geral do Método SCS-CN com a abstração inicial a 20% da capacidade de armazenamento de água do solo é mais sensível às variações dos valores CN do que ao próprio volume de precipitação, ou seja, o escoamento superficial pode ser subestimado ou sobrestimado dependendo do valor CN selecionado nas tabelas do *NRCS*, devendo ser selecionados com cautela (USDA-NRCS, 2004b).

Para reduzir o risco de erros na seleção dos valores CN em tabelas do NEH-4, recomenda-se a criação de referências a partir da determinação de valores CN com base em dados de precipitação e de escoamento superficial de bacias hidrográficas locais, afim de confirmar a escolha dos valores CN das tabelas do NEH-4 com maior confiabilidade. Modelos globais como o Método SCS-CN, precisam ser aperfeiçoados a partir de dados obtidos localmente e regionalmente, pois, a escala de abrangência destes métodos ultrapassa a escala em que os dados utilizados para o seu estabelecimento foram obtidos.

A melhor gestão das bacias hidrográficas proporcionará uma melhor utilização dos recursos naturais, evitando prejuízo econômicos e problemas ambientais. O Cerrado caracteriza-se pela presença de rios perenes e que são alimentados por águas subterrâneas, mas,

que vem reduzindo suas vazões (a prova são os reservatórios d'água de usinas hidrelétricas que atingem níveis críticos) devido provavelmente, a elevados índices de escoamento superficial e baixa infiltração d'água no solo que se encontra no sistema hidrológico das bacias hidrográficas.

Assim, adaptações na metodologia podem auxiliar na melhor gestão das bacias hidrográficas do território brasileiro, proporcionando uma melhor estimativa do escoamento superficial e da capacidade de armazenamento de água do solo. Os diversos usos da terra em bacias hidrográficas do Cerrado brasileiro precisam ter os valores da abstração inicial determinados para que o processo de escoamento superficial e suas consequências para o solo possam ser melhor conhecidos, além de estimar a recarga d'água subterrânea, pois, quanto maiores os índices da abstração inicial, menores serão o volume de escoamento superficial e vice-versa.

A importância da região de Cerrado economicamente e ecologicamente traz a necessidade de estudos hidrológicos para o melhor conhecimento das respostas hidrológicas e a predição de impactos nas condições de alteração do uso e ocupação da terra, bem como a necessidade de pesquisas para fins de planejamento do uso dos recursos hídricos. Valores CN e índices de abstração inicial obtidos a partir de simuladores de chuva podem fornecer dados para uma melhor aplicação da Método SCS-CN e, com isso, fornecer uma melhor estimativa do escoamento superficial e da capacidade de armazenamento de água do solo. Estudos das condições das bacias hidrográficas podem ser realizados de maneira rápida e eficaz com utilização de simuladores de chuva, e pesquisas em série podem fornecer dados que comparados a dados de outros estudos podem melhor definir os parâmetros do Método SCS-CN.

OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa consiste em determinar o volume de abstração inicial, o índice de abstração inicial e o valor CN em determinados usos e ocupação da terra em área de Cerrado por meio do uso de simulador de chuva com diferentes intervalos de tempo e mesma intensidade.

Os objetivos específicos são:

- Determinar o volume de abstração inicial para os usos e ocupação da terra: agricultura (Milho, Café e Soja), pastagens (Braquiária), no Cerrado e em Estrada com a utilização de um simulador de chuva;
- Estabelecer os valores CN para as capacidades de armazenamento de água do solo obtidas na pesquisa e comparar com os valores CN selecionados a partir das tabelas do USDA-NRCS;
- Definir o grupo hidrológico do solo (HSG) para os solos dos locais onde foram analisados os usos e ocupação da terra selecionados na pesquisa;
- Determinar os índices de abstração inicial e comparar esses índices com aqueles propostos pelo USDA-NRCS;

CAPÍTULO 1 - REFERENCIAL TEÓRICO - CONCEITUAL BÁSICO

1.1 Histórico e procedimentos do método Curve Number (SCS-CN)

O desenvolvimento do Método SCS-CN iniciou-se na década de 1930 nos EUA a partir da necessidade de desenvolvimento de projetos e medidas de conservação dos solos. Percebeu-se a necessidade de obtenção de dados hidrológicos e o estabelecimento de procedimentos simples para a estimativa das taxas de escoamento superficial em bacias hidrográficas.

Nos EUA, nos anos 1930 havia a necessidade de estudos hidrológicos voltados para os avanços e para as melhorias nas práticas da agricultura, gerando um melhor aproveitamento das terras para a produção agrícola, e também para subsidiar a implantação de projetos e de práticas de conservação dos solos. Neste sentido, o Método SCS-CN foi criado nos anos de 1930 nos EUA, com o objetivo de conhecer e investigar o processo de escoamento superficial da água em bacias hidrográficas objetivando o controle dos processos erosivos. Os problemas decorrentes de processos erosivos, por inundações e assoreamento em rios e bacias hidrográficas causavam a perda de vidas e danos materiais nos EUA, comprometendo a qualidade de vida. Como havia pouca tecnologia nos anos 1950, havia a necessidade de desenvolvimento de um método capaz de atender aos objetivos de controle de processos erosivos e inundações, e os efeitos colaterais. Assim, estudos foram realizados e inicialmente foram obtidos dados de infiltração em várias bacias hidrográficas durante os anos 1930 e 1940 (USDA-NRCS, 2016; WOODWARD et al., 2002).

No desenvolvimento dos estudos do escoamento superficial em bacias hidrográficas dos EUA, o *Soil Conservation Service (SCS)* contratou consultores que estudaram a retenção de água no solo e o volume de escoamento superficial produzidos em uma determinada unidade de solo durante um evento pluviométrico. Seus consultores logo perceberam os impactos

proporcionados pelos processos erosivos nos solos, - provocados pela água, pelos ventos - ocasionando a redução da capacidade da terra em sustentar a produtividade agrícola, e a própria sustentabilidade das comunidades rurais (USDA-NRCS, 2016). Salienta-se, que o *SCS* foi criado nos esforços de recuperação da economia do New Deal (1932), com o objetivo de desenvolver mecanismo para a conservação dos solos, dos recursos hídricos, criando-se fundos para combater a erosão dos solos e para melhorar a produtividade agrícola.

Os problemas desencadeados por processos erosivos assolaram regiões dos EUA, a exemplo de nuvens de poeiras que passaram por Washington D.C., suscitando debates no Congresso americano sobre mecanismos para proporcionar a conservação dos solos e reduzir a erosão (USDA-NRCS, 2016). Em 1936, a Lei de Controle de Cheias (Lei Pública 74-738) definiu a execução de pesquisas e a elaboração de planos de controle de inundações em bacias hidrográficas, implementando políticas e medidas de recuperação de áreas degradadas, o que envolve o controle e a prevenção dos processos erosivos. Em 1938, o USDA delegou ao *SCS* a responsabilidade de gerenciar programas de drenagem e de assistência a irrigação, e também, por programas para previsão de neves e de abastecimento de água, de instalações hidráulicas, da utilização da terra e de programas de reflorestamento (USDA-NRCS, 2016).

Desde a aprovação da Lei de Controle de Cheias de 1936, o *SCS* já pesquisava em bacias hidrográficas métodos de controle de erosões e meios de evitar as inundações. Assim, o Método *SCS-CN* surge como produto final dos trabalhos iniciados ao longo da década de 1930 pelo então *SCS*. Os trabalhos do *SCS* para a elaboração do Método *SCS-CN* foram desenvolvidos em pequenas bacias hidrográficas, não medidas (*ungauged*), de uso agrícola e a partir de dados de precipitação total. No início do século XX era comum pesquisadores associarem o escoamento superficial aos dados de precipitação total, de modo a descrever as características hidrológicas de um rio. A citação a seguir exemplifica os procedimentos para o desenvolvimento do Método *SCS-CN*, quando em 1942 Sherman, incluiu, "[...] *additional information by plotting runoff*

versus rainfall with separate curves for each month and a tabular adjustment for antecedent rainfall (USDA/NRCS, 2004, p.1)”.

Em 1949, Sherman propôs a separação do escoamento direto, daquele movimento das águas de enxurradas. No mesmo ano, Mockus sugeriu que o escoamento superficial fosse inferido com base nos seguintes fatores: tipo de solo, extensão da área, localização, uso da terra, precipitação antecedente, duração e a profundidade do evento pluviométrico, a temperatura média anual e a data da chuva (USDA-NRCS, 2016; WOODWARD et al., 2002).

De acordo com Woodward (2002), em 1954, ao agrupar dados de infiltração do Texas, de Oklahoma, do Arkansas e da Louisiana, Andrews descobriu-se que a textura do solo foi fator determinante no processo de escoamento superficial nos eventos pluviométricos analisados. Como resultado, Andrews criou um gráfico para a estimativa do escoamento superficial direto a partir da combinação das variáveis textura do solo, da cobertura da bacia e as práticas de conservação utilizadas, denominado, complexo solo-cobertura (*soil-cover complex*). Destaca-se que o *soil-cover complex* permanece como procedimentos do Método *SCS-CN* na atualidade.

Posteriormente, em 1955 os solos foram classificados por Musgrave, levando-se em consideração a taxa de infiltração do solo. Assim, os solos foram agrupados considerando-se a capacidade mínima de infiltração com base em testes de laboratórios e em sua textura. Neste sentido, definiram os grupos hidrológicos do solo que foram agrupados em: A (solos arenosos), B, C e D (solos argilosos). Desde então foram classificados 14.000 grupos de solos nos Estados Unidos (MUSGRAVE, 1955; WOODWARD et al., 2002). Atualmente, este sistema de classificação hidrológicas dos solos é fundamental para aplicação do Método *SCS-CN* no conhecimento do escoamento superficial e do armazenamento de água no solo. Posteriormente, analisa-se com mais detalhes a classificação hidrológica dos solos.

Os trabalhos de Sherman (1949), Mockus (1949) e Andrews (1949) foram as bases para o estabelecimento da equação que determina o escoamento superficial do *SCS*, sendo expressa

da seguinte maneira: quando o escoamento superficial é em função da precipitação pluviométrica e inicia-se o escoamento superficial após algumas chuvas, a relação entre precipitação e o escoamento superficial é evidente. De acordo com o USDA/NRCS (2004), para o estabelecimento da Equação Geral do Método *SCS-CN*, Mockus partiu da premissa de que o gráfico representando dados de precipitação total e de escoamento superficial para várias chuvas em uma determinada bacia hidrográfica é côncava, e que, em pequenos eventos pluviométricos não há escoamento superficial. Com o aumento da intensidade da chuva a curva se torna-se assintótica a uma linha paralela a uma linha de igualdade.

Em 1949, Mockus sugeriu que o escoamento superficial fosse inferido com base nos seguintes fatores: tipo de solo, extensão da área, localização, uso da terra, precipitação antecedente, duração e a altura do evento pluviométrico, a temperatura média anual e a época da chuva. Mockus, então propôs uma equação que representasse a curva contida no gráfico da precipitação versus o escoamento superficial. A princípio, ele desconsiderou a abstração inicial, propondo uma curva adequada para a relação entre a chuva, o escoamento superficial e o potencial de retenção de chuva. De acordo com Mockus (1964) *apud* Woodward et al. (2002, p.3), a fórmula do *SCS* que representa o escoamento superficial baseia-se na hipótese expressa na Equação 1:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

F - Precipitação retida durante uma determinada chuva (infiltração) (mm);

S - Potencial máximo de água no solo (mm);

Q - Escoamento superficial direto (mm);

P - Precipitação total ou potencial de escoamento máximo (mm);

Fonte: Woodward *et al.* (2002, p.3);

Justifica-se que esta equação reproduz a curva precipitação-escoamento superficial (vazão) apresentadas nos hidrograma de bacias hidrográficas naturais. Posteriormente, Mockus propôs um valor para retenção d'água após o início do escoamento superficial 'F', satisfazendo a Lei da Conservação das Massas (Equação 2):

$$F = P - Q \quad \text{Eq. 2}$$

Substituindo F da Equação 1 pela Equação 2, obtêm-se:

$$\frac{P - Q}{S} = \frac{Q}{P} \quad \text{Eq. 3}$$

Isolando-se Q da Equação 3 têm-se:

$$Q = \frac{P^2}{P + S} \quad \text{Eq. 4}$$

Observe que no emprego da Equação 4 para a obtenção do escoamento superficial, atribui-se zero para a abstração inicial. Quando a abstração inicial não é zero, 'P' da Equação 1 substitui-se por 'P-Ia', ou seja:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{(P - Ia)} \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:

$$\begin{aligned} F &\leq S \\ Q &\leq (P - Ia) \end{aligned}$$

No processo de desenvolvimento do Método *SCS-CN* várias proposições foram criadas para simular a relação chuva-escoamento superficial, e as primeiras versões não enquadravam a abstração inicial (Ia), que se define como a água evaporada diretamente para a atmosfera

durante e após os eventos pluviométricos, a água interceptada pela vegetação, o armazenamento superficial e a infiltração inicial, instantes antes ao início do processo de escoamento superficial (*runoff*) (HAWKINS et al., 2009; USDA-NRCS, 2004a; WOODWARD et al., 2002).

Portanto, a abstração inicial (I_a) da precipitação constitui-se como a parcela de chuva produzida desde o seu início até o instante em que se inicia o processo de escoamento superficial, e constituindo-se portanto, parte da chuva que fica retida na superfície do solo, em depressões, na copas das árvores e que não contribui com o escoamento superficial (BALTAS; DERVOS; MIMIKOU, 2007; HAWKINS; KHOJEINI, 2000; LING; YUSOP, 2014; MELLO et al., 2003; WOODWARD et al., 2002, 2003; YUAN et al., 2014).

Incorporando a abstração inicial à Equação 2, substituindo-se a incógnita 'P', obtêm-se:

$$F = (P - I_a) - Q \quad \text{Eq. 6}$$

Posteriormente, substitui-se a incógnita 'F' da Equação 5, pelo valor de 'F' da Equação 6, têm-se:

$$\frac{(P - I_a) - Q}{S} = \frac{Q}{(P - I_a)} \quad \text{Eq. 7}$$

Isolando a incógnita 'Q' (escoamento superficial) da Equação 7, chega-se a seguinte equação para a determinação do escoamento superficial, incorporando a abstração inicial:

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia) + S} \quad \text{Eq. 8}$$

Onde:

Q = escoamento superficial (mm);

P = precipitação (mm);

Ia = abstração inicial (mm);

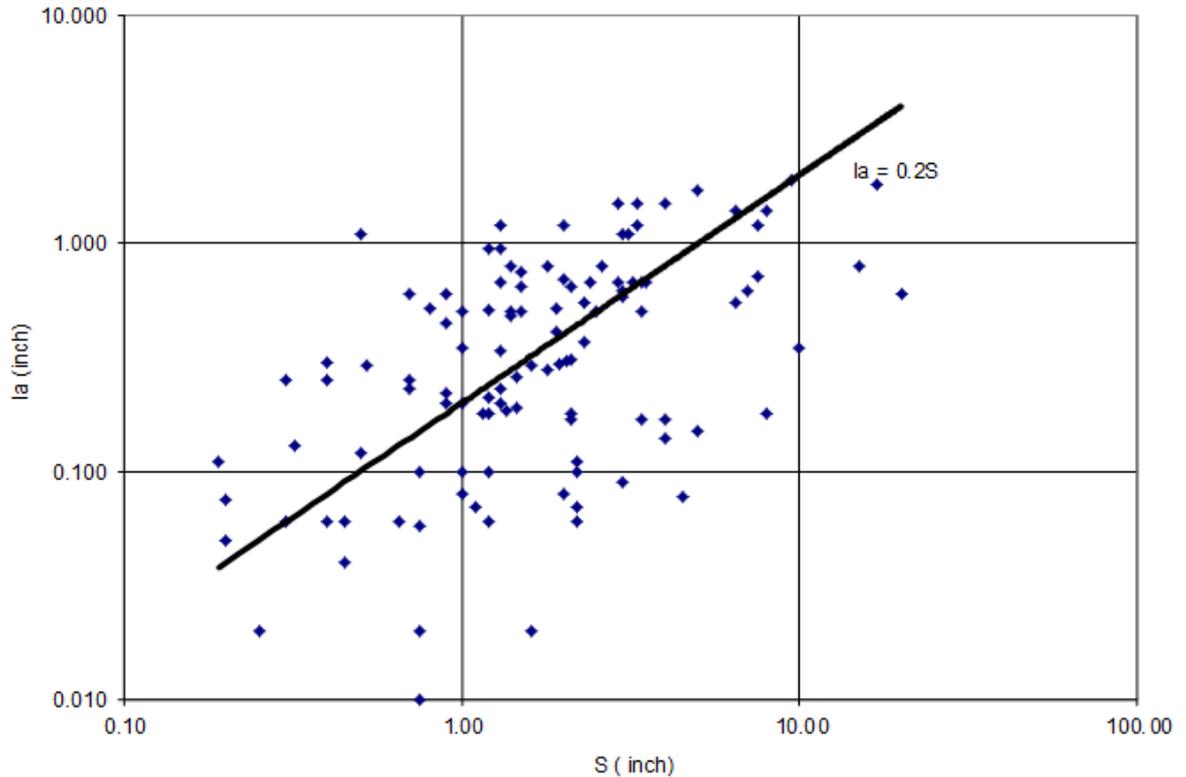
S = capacidade de armazenamento de água pelo solo (mm);

Fonte: USDA-NRCS (2004a, p.2);

O *NRCS* estabeleceu a relação entre a abstração inicial e a capacidade de armazenamento da bacia, sendo a abstração inicial representada por 20% da capacidade de armazenamento de água da bacia. Como mencionado a abstração inicial da precipitação pluviométrica compõe-se da interceptação, da infiltração inicial e do armazenamento de água superficial. A relação entre a abstração inicial e a capacidade de armazenamento de água no solo foram determinados em bases de dados obtidos em grandes e em microbacias hidrográficas. O melhor conhecimento da abstração inicial da precipitação pluviométrica é possível, mas, não foi recomendado pelo *SCS* devido a dificuldades do conhecimento de dados de interceptação, de infiltração e da capacidade de armazenamento de água da superfície do solo.

Na Figura 1 observa-se o gráfico contendo a relação entre a abstração inicial (*Ia*) e a capacidade de armazenamento de água no solo. Foi estipulado que a *Ia* seria 20% da capacidade de armazenamento de água no solo (*S*), ou seja, $Ia = 0,2 \cdot S$.

Figura 1 – Relação entre a abstração inicial e a capacidade de armazenamento de água no solo



Ia - Abstração inicial (polegadas)

S - Armazenamento de água no solo (polegadas)

Fonte: USDA/NRCS (2004) apud Ling; Yusop (2014, p.2)

Observa-se na Figura 1 que os 20% representam as condições médias da abstração inicial das bacias hidrográficas analisadas. Entretanto, os dados indicam uma grande variação na porcentagem de abstração inicial para a capacidade de armazenamento de água do solo. Assumindo que a abstração inicial representa 20% da capacidade de armazenamento de água pelo solo, a Equação 8 substitui-se pela equação a seguir na determinação do escoamento superficial:

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad \text{Se } P > Ia \quad \text{Eq. 9}$$

$$Q = 0 \quad \text{Se } P < Ia \quad \text{Eq. 10}$$

Fonte: (USDA-NRCS, 2004a, p.4)

Utiliza-se a Equação 9 quando o volume de precipitação total é maior que os 20% da capacidade de armazenamento de água do solo. Observe que para a obtenção do escoamento superficial necessita-se apenas do conhecimento do volume de precipitação pluviométrica. O valor do armazenamento de água no solo (S) é obtido com o emprego da Equação 11. Se na hipótese do volume de precipitação pluviométrica for inferior aos 20% da capacidade de armazenamento de água no solo, então, atribui-se zero para o escoamento superficial, ou seja, não existe escoamento e toda água precipitada fica retida na superfície (Eq. 10).

A capacidade de armazenamento de água do solo em milímetros é obtida em função do valor CN, com o emprego da equação a seguir:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Eq. 11}$$

Onde:

S = capacidade de armazenamento de água no solo (mm);

CN = valor Curve Number (adimensional);

Fonte: Hawkins; Hjelmfelt; Zevenbergen (1985, p.330)

A pesquisa para o desenvolvimento do Método *SCS-CN* utilizou dados físicos de bacias hidrográficas de diversas regiões dos EUA. Algumas críticas são tecidas ao Método *SCS-CN*, como o fato de que sua equação não apresenta nenhuma expressão do tempo, sendo, portanto, recomendada a utilização para a análise de eventos pluviométricos isolados. O Método *SCS-CN* não responde a intensidade da precipitação como apresenta a citação a seguir: “[...] *It cannot distinguish between the effect of 4 inches of precipitation in 1 hour, and 4 inches in 12 hours, although both the infiltration amounts and runoff rates will be considerably different (HAWKINS, 1978, p.54)*”.

Outro questionamento do Método *SCS-CN* reside no fato do mesmo não considerar variações na abstração inicial para as diferentes intensidades de precipitação e para os diversos

usos e ocupação da terra, considerando o parâmetro como uma constante. E também, não é capaz de prever os índices de infiltração para um determinado evento pluviométrico. A determinação de um valor numérico para a capacidade de armazenamento de água do solo em um determinado complexo solo-cobertura vegetal é questionável, pois, não considera as variações da capacidade de armazenamento de água do solo. A existência da capacidade de armazenamento de água do solo é questionada fisicamente. Enfatiza-se, que um parâmetro de escoamento superficial deve considerar as características da infiltração e a intensidade da chuva (SMITH, 1978 apud HAWKINS, 1978).

Existe uma necessidade de incorporação do tempo no desenvolvimento da metodologia CN, pois, há a necessidade de incorporação da intensidade de infiltração e de precipitação. No estudo desenvolvido por Lal et al. (2016) em parcelas experimentais, encontraram que a capacidade de infiltração é a principal variável explicativa para a formação do escoamento superficial, apresentando uma relação inversa entre a capacidade de infiltração e o valor CN.

1.2 Parâmetros do Método *SCS-CN*

O Método *SCS-CN* foi desenvolvido inicialmente para determinar o escoamento superficial e a capacidade de armazenamento de água do solo em pequenas bacias hidrográficas agrícolas. Desenvolvido nas condições edafoclimáticas dos EUA, atualmente é utilizado em diversas zonas climáticas terrestres para o conhecimento do escoamento superficial e da retenção de água no solo em microbacias hidrográficas (AJMAL et al., 2015; D'ASARO; GRILLONE, 2010, 2012; DE VILLARÁN SAN JUAN, 2006; HAWKINS et al., 2009, 2010; LAL et al., 2016; WOODWARD et al., 2002).

Para determinar o escoamento superficial de uma bacia hidrográfica atribui-se um valor numérico (valor CN – valor adimensional) que varia de zero a cem (0 a 100) conforme o uso e

ocupação da terra. Os valores CN teoricamente variam de 0 a 100, onde 0 representa a condição que não há formação de escoamento superficial e 100 onde o total precipitado transforma-se em escoamento superficial. Na Figura 2 verifica-se que quanto maior o valor CN maior será o escoamento superficial, e vice-versa. Foram desenvolvidos os valores CN para combinações específicas de solo e características de cobertura da bacia hidrográfica, considerando as propriedades físicas dos solos e a cobertura que favorecem ou impedem o escoamento superficial que um determinado evento pluviométrico pode provocar. A partir das bacias hidrográficas estudadas, a mediana dos valores CN foram selecionados, dividindo a representação gráfica da matriz CN em dois números iguais de pontos. Quando mais de uma área com o mesmo complexo solo-cobertura vegetal foram examinadas, a mediana dos valores CN foram substituídas pela média aritmética.

Os valores CN foram desenvolvidos para vários complexos solo-cobertura e foi publicado pelo *NRCS - National Engineering Handbook Section 4 - Hydrology (NEH-4)* no ano de 1986. O Método *SCS-CN* objetiva determinar o escoamento superficial e a capacidade de armazenamento de água de uma bacia hidrográfica com a utilização de poucos dados, de fácil obtenção, como a precipitação pluviométrica e o uso e ocupação da terra que define o valor CN de acordo com as características do denominado complexo solo-cobertura vegetal. Neste sentido o valor CN representa a capacidade de armazenamento de água do solo, pois, quanto maior o valor CN menor será o armazenamento de água daquele solo.

Atualmente, os procedimentos para a aplicação da metodologia encontram-se disponíveis no *NEH-4*, distribuídos em capítulos, que abordam aspectos hidrológicos e de aplicação da metodologia. O Capítulo 8 traz a definição das classes de tratamento do solo e dos usos da terra utilizadas na caracterização das bacias hidrográficas. O uso da terra compreende a cobertura da bacia hidrográfica, o tipo de vegetação, se solo exposto e/ou usos agrícolas, superfície de água e superfícies impermeáveis, como as características de áreas urbanas. As classes de tratamento

do solo são definidas a partir do uso da terra, aplicando-se principalmente às áreas agrícolas. As classes de tratamento referem-se aos usos e práticas agrícolas (práticas mecânicas – terraceamento etc.; rotação de culturas e de pastagens), ou seja, envolvem o uso da terra e o manejo agrícola (USDA/NRCS, 2002). Essas classes são utilizadas para a determinação do grupo hidrológico do solo que influem na definição do valor CN, um dos parâmetros principais do método e que será abordado à frente.

A combinação do grupo hidrológico do solo com as classes de tratamento e uso da terra, produz o complexo hidrológico solo-cobertura vegetal, complexo este utilizado para inferir o valor CN que reflete fatores como o tipo de solo e a cobertura da bacia hidrográfica. Assim, conforme a Equação 11 com a definição do valor CN determina-se a capacidade de armazenamento de água do solo.

Portanto, para cada complexo solo-cobertura vegetal atribui-se um valor CN preestabelecidos em gráficos e em tabelas disponibilizados pelo NRCS. O valor CN indica o potencial de escoamento superficial para cada complexo, variando de zero a 100, onde teoricamente, o valor zero é indicado para áreas com baixo poder de produzir escoamento superficial e elevada capacidade de armazenamento de água, e o valor de 100 para áreas com alto poder de produzir escoamento superficial e reduzida capacidade de armazenamento da água (HAWKINS, 1993; HAWKINS et al., 2010; USDA-NRCS, 2004b; WOODWARD et al., 2002).

As tabelas apresentam os valores CN para os mais diversos complexos, para áreas de agricultura e de florestas do oeste americano, que variam de formações herbáceas a florestas, áreas áridas e semiáridas, como as áreas características do oeste americano e também, valores CN para as áreas urbanas, além de outras regiões do país e os seus territórios. De acordo com Mockus (1964) apud Woodward et al., (2002), os valores CN associados com o complexo solo-cobertura vegetal são valores medianos, aproximando-se das condições médias da bacia

hidrográfica. Os vários parâmetros utilizados na determinação do valor CN, incluindo a precipitação antecedente em 5 dias, a fase de desenvolvimento da cultura, a umidade do solo e a interceptação explicam a variação do valor CN para cada bacia hidrográfica.

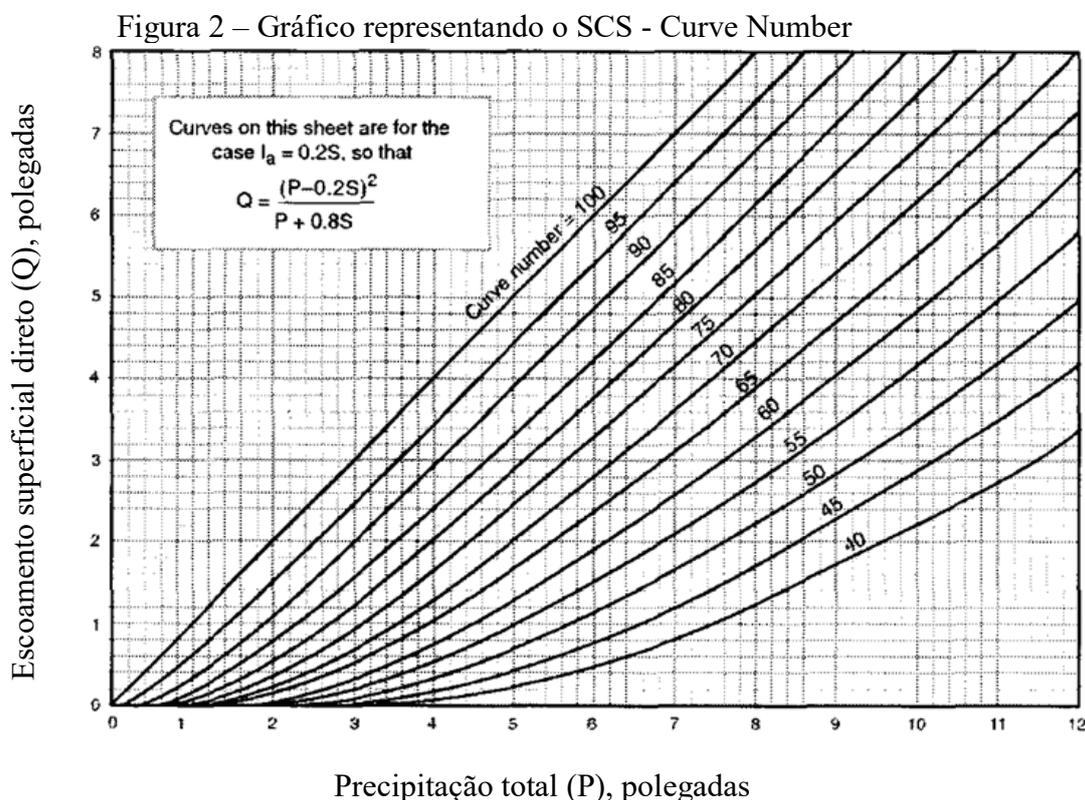
Os parâmetros utilizados no desenvolvimento do Método *SCS-CN* levaram em consideração os usos da terra, o tipo de solo e a localização geográfica. A temperatura média anual, o volume e a intensidade das precipitações pluviométricas também foram considerados nas proposições do Método *SCS-CN*. No processo de elaboração do método, para as áreas florestadas com aspectos úmidos do leste dos EUA a variável chave do Curve Number foi a condição hidrológica da floresta e o desenvolvimento do horizonte húmico. Para o “oeste americano”, de regiões áridas e semiáridas as áreas foram classificadas como: áreas com arbustos desérticos; formações herbáceas; arbustos em montanhas e áreas de pinheiros.

O Método *SCS-CN* assenta-se em duas hipóteses, que são: 1º - o “escoamento superficial” inicia-se quando alcançado um “limiar de escoamento - abstração inicial”; 2º - o quociente entre a “retenção real de água” e a “retenção máxima” é igual ao quociente entre o “escoamento direto” e o “escoamento superficial máximo”. Depois dos estudos e do levantamento de dados hidrológicos (principalmente a infiltração) de bacias hidrográficas em território dos Estados Unidos, o *SCS* publicou tabelas que relacionam os usos do solo, os grupos hidrológicos dos solos, as práticas de cultivo e as condições hidrológicas (D’ASARO; GRILLONE, 2010; HAWKINS et al., 2009, 2010; MONGIL, 2010; WOODWARD et al., 2002). O uso do solo é compreendido nos seguintes grupos, a saber: agrícola, pastagem, floresta e urbano.

Quando transformados os dados de precipitação pluviométrica em escoamento superficial com uso do valor CN, há probabilidade de erros, que aumenta à medida que os valores CN e da precipitação pluviométrica diminuem, visto que a abstração inicial tende a aumentar com a redução do valor CN e da chuva. Salienta-se que o uso de técnicas agrícolas como as curvas de nível e terraços reduzem o valor CN em 48%. Cita-se que a “[...] *variación media de la*

escorrentía debida a los posibles errores inducidos por las técnicas de cultivo es del 19 % (DE VILLARÁN SAN JUAN, 2006, p.29)”.

O valor CN encontra-se nas tabelas do *Soil Conservation Service (SCS)*, e serão apresentadas posteriormente. A Figura 2 traz o gráfico que representa o Método *SCS-CN*, onde verifica-se o valor mínimo de CN=40 e o máximo de CN=100, e as respectivas, precipitação (polegadas) e o escoamento superficial (polegadas). Observe que o valor CN=100 toda a precipitação transforma-se em escoamento superficial, como áreas pavimentadas que possuem valores CN próximos a 100.

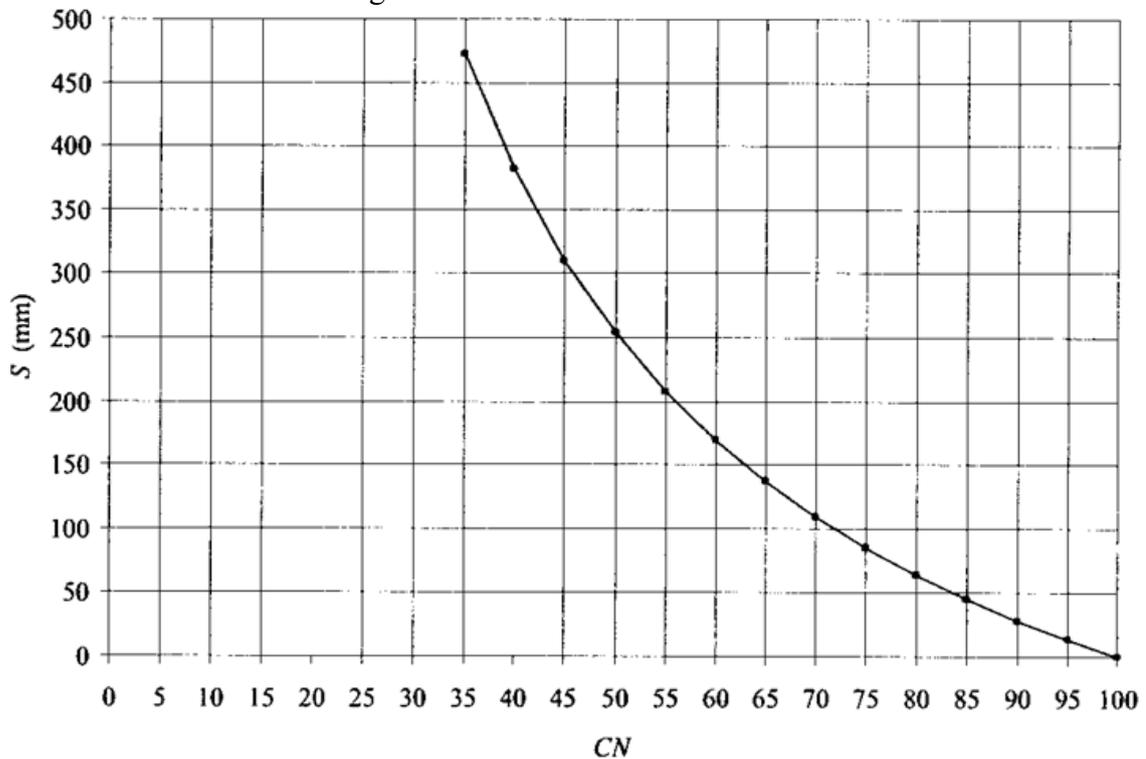


Fonte: Soil Conservation Service - SCS (1986) apud De Villarán San Juan (2006, p.10)

De acordo com De Villarán San Juan (2006), este gráfico da precipitação-escoamento superficial que representa o Método *SCS-CN* é muito utilizado pelos estadunidenses ao invés da própria fórmula matemática (citada anteriormente) que é muito comum, por exemplo, na

Espanha e no Brasil. No gráfico da Figura 3 apresenta-se a relação entre o valor CN e a capacidade de armazenamento de água do solo.

Figura 3 – Gráfico que apresenta relação entre o valor CN e a capacidade de armazenamento de água do solo



S - Capacidade de armazenamento de água no solo

CN – Valor CN

Fonte: De Villarán San Juan, (2006, p.11)

Observe que a capacidade de armazenamento de água do solo reduz-se à medida que aumenta o valor CN. Os valores CN para cada complexo solo-cobertura vegetal foram definidos a partir da análise gráfica do maior escoamento superficial anual em consequência da precipitação para uma bacia hidrográfica com um mesmo tipo de solo e uma mesma cobertura. Se houvesse bacias hidrográficas com características de mesmo tipo de solo e cobertura vegetal seriam obtidas as médias. Posteriormente, o *Soil Conservation Service* publicou as tabelas em que traziam os usos do solo, os grupos hidrológicos dos solos, as práticas de cultivos e as condições hidrológicas.

1.2.1 Variáveis e os fatores do parâmetro CN

Vários fatores são levados em consideração na definição do parâmetro CN: o uso do solo; o tipo de terreno; as condições hidrológicas; as práticas de cultivo e as condições antecedentes de umidade. Posteriormente serão abordados cada um destes fatores.

1.2.1.1 Uso do solo e práticas de cultivo

O SCS define os usos do solo nos grupos 'agrícola, pastagem, floresta e urbano', todos definidos a partir das características edafoclimáticas do território dos Estados Unidos, sugerindo ajustes quando aplicado a outras regiões. O grupo agrícola representa-se por áreas em pousio, áreas com plantio em linhas, cultivos de grãos pequenos (trigo, aveia, cevada, fibra de linho) e cultivos de leguminosas ou cultivos de rotação gramíneas - leguminosas. O grupo pastagem engloba as pastagens, as pradarias e os matagais com a presença de vegetação herbácea.

O grupo floresta inclui áreas onde encontram-se árvores e gramas em uma proporção de 50% de cada, e também, pequenos bosques e superfícies florestadas. Nas regiões florestais úmidas do leste dos EUA, o tipo de solo, presença ou não de húmus e a profundidade são os principais fatores considerados para determinar o valor CN. Já no oeste americano os principais fatores considerados para estipular o valor CN são o grupo de solo, a característica da vegetação e sua densidade. O grupo urbano engloba áreas edificadas, Estradas, áreas abertas como jardins, campos de golfe, áreas impermeáveis e zonas urbanas típicas.

As práticas de cultivo agrícola abordadas pelo Método SCS-CN, incluem as práticas mecânicas, a utilização de curvas de nível e de terraços, além de outras práticas, como a rotação

de culturas e pastoreio. Citam-se como práticas de cultivo, as lavouras que seguem as linhas de máximas declividades de uma ladeira ou que seguem as curvas de nível.

Ressalta-se que os dados experimentais utilizados pelo *SCS* para definir os valores *CN* foram obtidos em bacias hidrográficas com declividades entre 3 e 8% (DE VILLARÁN SAN JUAN, 2006; USDA-NRCS, 1986, 2004b). Também, incluem os cultivos em terraços e a gestão dos resíduos, por exemplo, quando utiliza-se a palha da lavoura como uma proteção do solo, caso do sistema de plantio direto. A título de exemplo, na Tabela 1 encontram-se os valores *CN* para os usos da terra em bacias hidrográficas rurais.

Tabela 1 – Valores *CN* para bacias hidrográficas de usos da terra rurais

Uso do solo	Superfície do solo	Grupo do solo			
		A	B	C	D
Solo lavrado	com sucros retilíneos	77	86	91	94
	em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	em curvas de nível	67	77	83	87
	terraceado em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curvas de nível	62	74	82	85
	Terraceado em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagens	Pobres, em curvas 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	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras	Normais	56	75	86	91

Estradas de terra	Más	72	82	87	89
	de superfície dura	74	84	90	92
Florestas	muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	esparsas	46	68	78	84
	densas, alta transpiração	26	52	62	69
	normais	36	60	70	76

Fonte: Tucci (2009 p.405);

Observe que na Tabela 1 além do uso do solo, há também a classificação da superfície do solo e o grupo hidrológico do solo. Os solos são agrupados em 4 grupos hidrológicos - A, B, C e D, e para cada grupo existem características específicas. Neste sentido, o valor CN expressa a probabilidade de determinado tipo de solo e uso da terra produzir escoamento superficial quando da ocorrência de um evento pluviométrico. Teoricamente varia de 0 a 100, onde zero aplica-se para solos com pouca capacidade de produzir escoamento superficial, ou seja, solos altamente permeáveis com altas taxas de infiltração, e 100 para solos altamente propensos a produzir o escoamento superficial, ou seja, áreas impermeáveis onde o total da precipitação transforma-se em escoamento superficial. Os grupos hidrológicos dos solos serão abordados em itens posteriores. Os valores CN para áreas urbanas, de acordo com os grupos hidrológicos dos solos e do uso e ocupação da terra, podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores CN para bacias hidrográficas com usos da terra urbanas e suburbanas

Utilização ou cobertura do solo	Grupo dos solos			
	A	B	C	D
Zonas cultivadas: sem conservação do solo	72	81	88	91
com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições	68	79	86	89
Baldios em boas condições	39	61	74	80
Prados em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas com cobertura ruim	45	66	77	83
Floresta: cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições				

Com relva de mais de 75% da área		39	61	74	80
Com relva de 50% a 75% da área		49	69	79	84
Zonas comerciais ou de escritórios		89	92	94	95
Zonas industriais		81	80	91	93
Zonas residenciais					
Lotes de (m ²)	% média impermeável				
<500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87
1300	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84
Parques, estacionamento, telhados, viadutos, etc.		98	98	98	98
Arruamentos e estradas					
Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais		98	98	98	98
Paralelepípedos		76	85	89	91
Terra		72	82	87	89

Fonte: Tuccl (2009, p.406);

Note que os valores CN para os usos da terra caracterizados como urbanos são maiores que os encontrados em usos da terra rural devido à maior impermeabilização de áreas urbanas, com edificações variadas ou mesmo áreas altamente compactadas.

1.2.1.2 Condição hidrológica

A condição hidrológica leva em consideração: o tipo de cobertura do solo, as características da infiltração e do escoamento superficial da bacia hidrográfica. Estimou-se a condição hidrológica a partir da densidade de plantas sobre uma área ou possíveis outros resíduos encontrados na área. A condição hidrológica é classificada como boa quando o solo apresenta baixo potencial para produzir escoamento superficial e alta capacidade de infiltração.

Alguns fatores são considerados na definição da condição hidrológica, como a presença de dossel, densidade do gramado, da cultura analisada e os variados tipos de vegetação.

Considera-se também tempo de cobertura pela vegetação durante o ano, a quantidade de grama ou outros tipos de cultivos (DE VILLARÁN SAN JUAN, 2006; SCS - SOIL CONSERVATION SERVICE, [s.d.]; USDA-NRCS, 1986).

1.2.1.3 Grupo hidrológico do solo

Grupo hidrológico do solo define-se "[...] como el conjunto de suelos que se pueden agrupar em uma mesma categoria por poseer una capacidad similar de producir escorrentía [...]" (NRCS *apud* DE VILLARÁN SAN JUAN, 2006, p.17). Ressalta-se que as propriedades do solo que são capazes de produzir escoamento superficial são as que afetam as 'taxas mínimas de infiltração', considerando um determinado solo desnudo após umedecido por um tempo prolongado e que não esteja congelado. As propriedades físicas que afetam a infiltração são a textura e a profundidade dos horizontes do solo permeáveis (MUSGRAVE, 1955). De acordo com o *Natural Resources Conservation Service* os grupos hidrológicos (HSG) definem-se em solos, a saber:

Group A—Soils in this group have low runoff potential when thoroughly wet. Water is transmitted freely through the soil. Group A soils typically have less than 10 percent clay and more than 90 percent sand or gravel and have gravel or sand textures. Some soils having loamy sand, sandy loam, loam or silt loam textures may be placed in this group if they are well aggregated, of low bulk density, or contain greater than 35 percent rock fragments.

The limits on the diagnostic physical characteristics of group A are as follows. The saturated hydraulic conductivity of all soil layers exceeds 40.0 micrometers per second (5.67 inches per hour). The depth to any water impermeable layer is greater than 50 centimeters [20 inches]. The depth to the water table is greater than 60 centimeters [24 inches]. Soils that are deeper than 100 centimeters [40 inches] to a water impermeable layer and a water table are in group A if the saturated hydraulic conductivity of all soil layers within 100 centimeters [40 inches] of the surface exceeds 10 micrometers per second (1.42 inches per hour).

Group B—Soils in this group have moderately low runoff potential when thoroughly wet. Water transmission through the soil is unimpeded. Group B soils typically have between 10 percent and 20 percent clay and 50 percent to 90 percent sand and have loamy sand or sandy loam textures. Some soils having loam, silt loam, silt, or sandy clay loam textures may be placed in this group if they are well aggregated, of low bulk density, or contain greater than 35 percent rock fragments.

The limits on the diagnostic physical characteristics of group B are as follows. The saturated hydraulic conductivity in the least transmissive layer between the surface and 50 centimeters [20 inches] ranges from 10.0 micrometers per second (1.42 inches per hour) to 40.0 micrometers per second (5.67 inches per hour). The depth to any water impermeable layer is greater than 50 centimeters [20 inches]. The depth to the water table is greater than 60 centimeters [24 inches]. Soils that are deeper than 100 centimeters [40 inches] to a water impermeable layer and a water table are in group B if the saturated hydraulic conductivity of all soil layers within 100 centimeters [40 inches] of the surface exceeds 4.0 micrometers per second (0.57 inches per hour) but is less than 10.0 micrometers per second (1.42 inches per hour).

Group C—*Soils in this group have moderately high runoff potential when thoroughly wet. Water transmission through the soil is somewhat restricted. Group C soils typically have between 20 percent and 40 percent clay and less than 50 percent sand and have loam, silt loam, sandy clay loam, clay loam, and silty clay loam textures. Some soils having clay, silty clay, or sandy clay textures may be placed in this group if they are well aggregated, of low bulk density, or contain greater than 35 percent rock fragments.*

The limits on the diagnostic physical characteristics of group C are as follows. The saturated hydraulic conductivity in the least transmissive layer between the surface and 50 centimeters [20 inches] is between 1.0 micrometers per second (0.14 inches per hour) and 10.0 micrometers per second (1.42 inches per hour). The depth to any water impermeable layer is greater than 50 centimeters [20 inches]. The depth to the water table is greater than 60 centimeters [24 inches]. Soils that are deeper than 100 centimeters [40 inches] to a restriction and a water table are in group C if the saturated hydraulic conductivity of all soil layers within 100 centimeters [40 inches] of the surface exceeds 0.40 micrometers per second (0.06 inches per hour) but is less than 4.0 micrometers per second (0.57 inches per hour).

Group D—*Soils in this group have high runoff potential when thoroughly wet. Water movement through the soil is restricted or very restricted. Group D soils typically have greater than 40 percent clay, less than 50 percent sand, and have clayey textures. In some areas, they also have high shrink-swell potential. All soils with a depth to a water impermeable layer less than 50 centimeters [20 inches] and all soils with a water table within 60 centimeters [24 inches] of the surface are in this group, although some may have a dual classification, as described in the next section, if they can be adequately drained.*

The limits on the physical diagnostic characteristics of group D are as follows. For soils with a water impermeable layer at a depth between 50 centimeters and 100 centimeters [20 and 40 inches], the saturated hydraulic conductivity in the least transmissive soil layer is less than or equal to 1.0 micrometers per second (0.14 inches per hour). For soils that are deeper than 100 centimeters [40 inches] to a restriction or water table, the saturated hydraulic conductivity of all soil layers within 100 centimeters [40 inches] of the surface is less than or equal to 0.40 micrometers per second (0.06 inches per hour) (USDA-NRCS, 2009, p.2-3).

Essencialmente os solos do grupo A são solos com elevada condutividade hidráulica saturada e lençol freático muito profundo, e no extremo temos os solos do grupo D, classificados como baixa condutividade hidráulica saturada e com lençol freático raso. Contudo, ressalta-se que os grupos hidrológicos dos solos foram definidos na hipótese de que a mínima condutividade hidráulica ocorre nos 0,5 m superiores do perfil do solo e se [...]:

[...] *el mínimo ocurre entre los 0,5 y 1 m de profundidad, el grupo hidrológico debe ser aumentado en una categoría, siempre que la conductividad entre 0 y 0,5 m corresponda a una categoría superior [...]* (DE VILLARÁN SAN JUAN, 2006, p.17).

Em alguns casos, solos que foram classificados no grupo D por possuir lençol freático raso que apresentem problemas de drenagem, e se estes solos forem bem drenados, poderão passar para outro grupo hidrológico do solo. Cita-se que para estas incertezas na classificação dos grupos hidrológicos dos solos fossem minimizadas, foram criadas três novas categorias de classificação, a saber: A/D; B/C e C/D. Estas classificações duplas denominam-se *dual hydrologic soil groups*.

Por exemplo, um solo úmido pode ser classificado como no grupo D com lençol freático a 60 centímetros de profundidade, mas, se este solo for drenado ele pode ter uma classificação dupla, e, por conseguinte, aplicada uma nova designação devido à sua transformação quando drenado, encontrando-se possivelmente com maior condutividade hidráulica saturada e maior profundidade do lençol freático quando drenado. Neste caso, a primeira letra da classificação dupla atribui-se à condição em que o solo esteja drenado (seco) e a segunda letra aplica-se à condição quando este solo não estivesse drenado, ou seja, úmido (DE VILLARÁN SAN JUAN, 2006; HAWKINS et al., 2009; USDA-NRCS, 1986, 2009).

1.2.1.4 Condição antecedente de umidade (AMC) e condição antecedente de escoamento superficial (ARC)

Além das condições de cobertura e do tipo de solo os autores do Método SCS-CN criaram tabelas para correção dos valores CN, baseando-se nas condições médias de umidade antecedente (Qual é a “condição de umidade antecedente” (AMC) do solo antes do evento pluviométrico?). Os valores da “condição antecedente de umidade” expressos nas tabelas (para bacias rurais, urbanas e suburbanas) do Método SCS-CN são divididos em AMC II (condições

médias de umidade – solos na capacidade de campo - CN médios), AMC I (condição seca - baixos CN) – e AMC III (condição úmida - altos CN).

O Método SCS-CN trabalha com dados médios do complexo solo-cobertura vegetal das bacias hidrográficas analisadas. Portanto, infere-se que há possibilidades de variações dos valores CN adotados. Tais variações no valor CN e que são difíceis de quantificar devem-se às variáveis do ciclo hidrológico e que afetam o processo de infiltração, a exemplo [...]:

[...] la intensidad de la tormenta, la temperatura, el tiempo de concentración, la evapotranspiración y la humedad del suelo (RALLISON Y MILLER, 1982 apud DE VILLARÁN SAN JUAN, 2006, p.19).

Entre as variáveis que interferem no processo de infiltração, e conseqüentemente, na determinação do valor CN, destaca-se a condição antecedente de umidade, umas das variáveis escolhidas para a incorporação ao modelo. Neste sentido, os números de curva apresentados nas tabelas [...]:

[...] corresponden a la mediana de los valores observados para unas condiciones determinadas de suelo y cobertura vegetal; son portanto valores próximos a la escorrentía media que produce una cuenca ante una precipitación. Por extensión, ese estadístico se ha utilizado para estimar el estado antecedente de humedad del suelo, considerando que el percentil 50 de las distintas situaciones de humedad edáfica antes de una tormenta será el que origine el valor del número de curva [...]. Esta situación se conoce como la condición antecedente de humedad II (AMC II). (MILLER; CRONSHEY, 1989 apud DE VILLARÁN SAN JUAN, 2006, p.19)

Então, a condição antecedente de umidade II (AMC II) corresponde a 50% de saturação do solo antes de um evento pluviométrico. O AMC I corresponde a condição em que o solo se encontra em estado seco e o AMC III seria na condição de solo saturado. Para determinar a condição antecedente de umidade, o *Soil Conservation Service* desenvolveu uma tabela em que indica o AMC considerando-se a precipitação total acumulada nos 5 dias antecedentes. Na Tabela 3, observa-se a condição antecedente de umidade I, II e III e volume de precipitação dos cinco dias anteriores necessários para a definição do período de repouso vegetativo ou para

o período vegetativo, determinando-se a condição antecedente de umidade para o instante da análise.

Tabela 3 – Determinação da condição antecedente de umidade em razão da precipitação acumulada nos 5 dias anteriores

Condição antecedente de umidade	Período de repouso vegetativo (mm)	Período vegetativo (mm)
I	< 13	< 36
II	13 a 28	36 a 54
III	> 28	> 54

Fonte: De Villarán San Juan (2006, p.21)

Conclui-se que a condição antecedente de umidade I (AMC I), corresponde "[...] *el 10% de la probabilidad acumulada de que una escorrentía determinada se produzca ante un evento de precipitación concreto [...]*" e o AMC II corresponde a 50% e o AMC III corresponde a 90% de probabilidade de que um evento de escoamento superficial possa vir a ocorrer. Alguns autores correlacionam os AMC's com os períodos de retorno de precipitações que gerarão eventos de escoamento superficial, e assim [...]:

[...]en algunos lugares se estima que la condición I corresponde con períodos de retorno de 1, 2 y 5 años, la condición II para 10, 25 y 50 años, mientras que la III es para 100 años (PONCE; HAWKINS, 1996 apud DE VILLARÁN SAN JUAN, 2006, p.21).

Desse modo, para um evento pluviométrico contínuo, o Método SCS-CN pode ser aplicado no conhecimento do escoamento superficial, mas, se houver intervalos no processo de precipitação de mais de uma hora, um novo parâmetro CN deve ser selecionado em função das modificações nas condições antecedentes de umidade (AMC's). Em itens posteriores, o tema condição antecedente de umidade será abordado.

De acordo com Woodward (2002), não parece haver nenhuma variação regional para o valor CN para um mesmo tipo de cobertura, mas que, a ausência de dados pode contribuir para esta conclusão. Entretanto, parece haver variações do valor CN em certas áreas florestadas. A

partir de estudos do efeito da precipitação antecedente nos valores CN os resultados mostram não haver significativa relação entre a precipitação antecedente e o valor CN (D'ASARO; GRILLONE, 2012; WOODWARD et al., 2002).

Atualmente o NRCS não recomenda a utilização da condição antecedente de umidade e adota-se a condição antecedente de escoamento (*ARC – Antecedent Runoff Condition*) que expressa a probabilidade de um evento produzir escoamento superficial. De acordo com a literatura a precipitação antecedente explica em partes as variações do valor CN, não havendo relação preestabelecida entre os valores CN e a precipitação antecedente, como adotado com o AMC. A condição antecedente de escoamento constitui-se uma variável aleatória, sendo o ARC I – condição seca, e o ARC III, condições úmidas (AUERSWALD; HAIDER, 1996; D'ASARO; GRILLONE, 2012; EPPS et al., 2013; HAWKINS et al., 2009, 2010; HAWKINS; HJELMFELT; ZEVENBERGEN, 1985; WOODWARD et al., 2002).

1.3 Determinação do valor CN com dados 'P-Q'

No processo de determinação do escoamento superficial ou da capacidade de armazenamento de água do solo em uma bacia hidrográfica, utilizando-se o Método SCS-CN, é necessário estipular o valor CN. Estes podem ser selecionados em tabelas do USDA-NRCS (2004) para bacias hidrográficas rurais. No entanto, os valores CN podem ser determinados por meio de dados de precipitação e de escoamento superficial (P-Q) obtidos em bacias hidrográficas e mediante métodos estatísticos (AUERSWALD; HAIDER, 1996; BANASIK et al., 2014; BANASIK; WOODWARD, 2010; D'ASARO; GRILLONE, 2012, 2015; EPPS et al., 2013; LAL et al., 2016; SOULIS; VALIANTZAS, 2012).

Por meio das tabelas do NRCS, seleciona-se o valor CN através da indicação das características físicas e de uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica, podendo ser urbanas,

rurais, florestadas etc. Os valores CN disponibilizados pelo NRCS, conforme apresentado nas Tabela 1 e 2 são para a abstração inicial a 20% da capacidade de armazenamento de água do solo ($\lambda=0,2$). Considerando a $I_a=0,2 \cdot S$ o valor CN pode ser estimado por meio de dados ‘P-Q’ para pequenas bacias hidrográficas com a aplicação da equação a seguir:

$$S = 5(P + 2Q - \sqrt{(4Q^2 + 5PQ)}) \quad \text{Eq. 12}$$

Onde:

S = capacidade de armazenamento de água do solo (mm);

P = precipitação (mm);

Q = escoamento superficial (mm)

Fonte: Hawkins et al. (2009); Hawkins et al. (1985);

A Equação 12 é uma derivação da Equação Geral do Método SCS-CN (Equação 9), considerando a abstração inicial como 20% da capacidade de armazenamento de água do solo. Existe uma preocupação de qual é a intensidade de precipitação para a aplicação do Método SCS-CN, pois, o método foi desenvolvido para determinados tipos de chuva, geralmente elevados índices pluviométricos. “*This suggests some selection of larger events, though the precise scale of "largeness" eludes definition* (HAWKINS; HJELMFELT; ZEVENBERGEN, 1985, p.336)”. Assim, apenas grandes eventos pluviométricos foram considerados na pesquisa de Hawkins; Hjelmfelt; Zevenbergen (1985). Nessa pesquisa, a seleção dos eventos pluviométricos consideraram a precipitação antecedente, considerando o valor CN como pertencente à condição antecedente de umidade I, II ou III. Em determinados eventos pluviométricos, o escoamento superficial só ocorre se o valor CN estiver na condição II ou III, e não ocorre na condição antecedente de umidade I.

Um estudo foi desenvolvido objetivando avaliar valores CN para coberturas florestais (bosques) no estado da Carolina do Sul (EUA) utilizando dados de precipitação e de escoamento superficial obtidos *in locus*. Esses dados foram comparados com os valores CN obtidos nas tabelas do NRCS. Os valores CN derivados de dados ‘P-Q’ para as bacias hidrográficas

analisadas variaram de 46 a 90 para uma das bacias, e de 42 a 89 em uma outra bacia analisada. Os resultados da pesquisa com as bacias hidrográficas mostraram uma melhora na determinação do escoamento superficial com a utilização de valores CN ajustados mediante a avaliação das condições antecedentes de escoamento superficial, o qual, por sua vez, baseia-se no nível do lençol freático (EPPS et al., 2013).

A elevação do nível do lençol freático foi correlacionada em função das alterações sazonais na evapotranspiração, como por exemplo, a elevação do lençol freático e condições de umidade durante os meses de inverno, quando observam-se as taxas de evapotranspiração reduzidas, e baixo nível do lençol freático com condições secas durante o verão, quando a evapotranspiração é elevada. Dados da flutuação do nível do lençol freático foram utilizados para as correlações entre ARC e o valor CN-derivado de dados ‘P-Q’.

Os valores CN derivados de dados ‘P-Q’ variaram dependendo do ARC no instante da precipitação, valores semelhantes aos encontrados originalmente nas tabelas do NRCS. Os valores CN muito baixos encontrados devem-se às condições muito secas, possivelmente relacionadas a regiões com canais intermitentes e com baixo nível do lençol freático. Os resultados mostraram que os valores CN a partir de dados de ‘P-Q’ podem ser menores do que os valores CN obtidos por meio do método TR-55, ou seja, sem os dados hidrológicos específicos do local (EPPS et al., 2013).

Foram analisados eventos de precipitação na estação de dormência e na estação de crescimento, e os resultados mostraram que valores CN ‘P-Q’ (derivados de dados de precipitação e de escoamento superficial) variaram de acordo com a sazonalidade, com elevadas médias dos valores CN na estação de dormência em comparação com valores CN para o período de crescimento da vegetação em ambas as bacias hidrográficas analisadas, e concluem que as variações sazonais no escoamento superficial (e consequentemente no valor CN) foram associadas ao ARC. Os maiores valores CN foram observados no início e no final do ano,

período de dormência e quando há o predomínio de condições úmidas, e conseqüentemente, maior escoamento superficial (EPPS et al., 2013).

Na região, em meados do ano, quando há o predomínio do período de crescimento da vegetação, observam-se valores CN mais baixos (chegando valores CN próximos a 55, ou mesmo abaixo de 50), com os CN mais baixos no verão, período de altas temperaturas e altas taxas de evapotranspiração, contribuindo para a redução do escoamento superficial e, provavelmente, um aumento da capacidade de armazenamento de água do solo, como afirmam Sun et al. (2002) apud Epps et al. (2013).

Verificaram-se variações no valor CN de acordo com as tendências sazonais atribuídas a condição antecedente de escoamento (ARC) na bacia hidrográfica analisado na Carolina do Sul (EUA). De acordo com Epps et al. (2013), uma simples média do valor CN pela metodologia do NRCS pode não prever adequadamente os volumes de escoamento superficial, devido a variabilidade sazonal do valor CN. A análise entre os valores CN ‘P-Q’ e a precipitação antecedente de 5 dias para definir a ARC mostrou-se fraca para as bacias hidrográficas analisadas, e concluíram que o indexador criado na pesquisa (API – indexador precipitação antecedente em 5 dias) não é recomendável para determinar-se a ARC. Por exemplo, para API – 5 dias, com volume zero (ou próximo de zero) houve muita variação dos CN ‘P-Q’ para as bacias hidrográficas analisadas, do DCN=42 a próximo ao DCN=80.

A elevação do lençol freático é uma relação entre a precipitação, a evapotranspiração e a vazão na bacia hidrográfica, e a elevação do lençol freático possui influência na geração do escoamento superficial. Assim, os valores CN ‘P-Q’ para as bacias analisadas possuem maior relação com o nível do lençol freático do que com a precipitação antecedente em 5 dias. Como traz a citação a seguir: “*Lower water table elevations are associated with lower CNs indicating that runoff generation is lower and that these conditions define dry ARC* (EPPS et al., 2013, p.1293)”. Os CN ‘P-Q’ aumentam com a elevação do nível do lençol freático, e quando o nível

d'água subterrânea está mais próximo da superfície do solo, indica o ARC III (ARC úmido). Quando o nível do lençol freático estava baixo os valores CN também foram baixos, à medida que o nível do lençol freático foi aumentando houve também aumento dos valores CN 'P-Q', concluindo que a fixação do valor CN de acordo com a flutuação do nível do lençol freático foi aconselhada.

Houve pontos no nível do lençol freático em que os valores CN 'P-Q' aumentaram significativamente. Em uma das bacias analisadas, indicou-se o ponto em que o nível do lençol levava ao aumento do valor CN-derivado (DCN). O nível do lençol freático em uma das bacias hidrográficas era de 3,25 - 3,5 m acima do nível do mar, e na outra bacia hidrográfica o nível do lençol freático era de 8,5 - 8,97 m acima do nível do mar, e o nível do lençol freático funcionava como um limite para determinar o ARC seco e o ARC úmido para as bacias hidrográficas analisadas. Esses limites foram determinados por meio da definição do valor CN utilizando-se o TR-55, onde CN 'P-Q' acima de 75 seriam ARC-III para as bacias hidrográficas analisadas. Já os valores CN 'P-Q' do ARC I seriam os valores CN abaixo da média dos valores CN 'P-Q' para as bacias analisadas, que em uma foi CN 'P-Q'=70 e na outra CN 'P-Q'=68. Então, o ARC-II seriam os valores CN entre 70 e 75 em uma das bacias, e na outra seriam os valores CN entre 68 e 75 para a outra bacia hidrográfica analisada.

Os valores CN obtidos a partir de dados de precipitação-escoamento superficial podem variar de chuva para chuva, variar com a intensidade e a duração da chuva, o total da precipitação, as condições de umidade do solo, a cobertura, o estágio de desenvolvimento da planta e a temperatura. Estudos do efeito da precipitação antecedente nos valores CN mostraram uma fraca relação. Ainda nesse sentido, constatou-se uma variação sazonal nos valores CN, principalmente, em ambientes úmidos e raramente em bacias hidrográficas áridas e semiáridas, com altos valores CN na estação de dormência e baixos valores CN na estação de crescimento (D'ASARO; GRILLONE, 2012; WOODWARD et al., 2002).

Uma pesquisa realizada na Ilha da Sicília (Itália) objetivou determinar o valor CN de 61 bacias hidrográficas a partir de dados de precipitação e de escoamento superficial observados ao longo de 20 anos e a partir de três diferentes metodologias: Método NEH-4; *Asymptotic fitting method* e o método dos mínimos quadrados. As análises indicaram altos valores CN no período de dormência, quando é menor a cobertura do solo e maior a umidade se comparado aos menores valores CN no período de crescimento da vegetação quando o solo está mais seco e, conseqüentemente, uma maior capacidade de armazenamento de água do solo. De acordo com D'asaro e Grillone (2012), necessita-se de novos estudos para melhor relacionar os valores CN (escala de bacias hidrográficas) com as características físicas das mesmas, como: hidrológicas; cobertura da bacia; geomorfologia etc.

Pesquisas são desenvolvidas para determinar novos valores CN para as mais diversas regiões da terra. A pesquisa desenvolvida por Banasik e Woodward (2010), objetivou verificar a aplicabilidade do Método SCS-CN em bacia hidrográfica do território polonês, determinando novos valores CN, a partir da análise de dados de eventos pluviométricos de quase 30 anos de coleta, em uma bacia hidrográfica com predomínio do uso agrícola, predominantemente composta por solos arenosos, com área de 23,4 km² em um relevo de planície no centro do país. A precipitação média anual para o período analisado na bacia correspondeu a 606 mm, e o escoamento superficial foi de 107 mm. Os valores CN foram estimados por três meios: 1º conforme o uso, a ocupação da terra e o tipo de solo, para bacias hidrográficas sem dados meteorológicos (*ungauged*); 2º com uso de dados de precipitação-escoamento superficial de elevada magnitude; e 3º baseado em eventos de precipitação-escoamento superficial, conforme a 'abordagem assintótica' de Hawkins (1993). Foram estimados os valores CN empíricos (computados na pesquisa) e os valores CN estimados pelo Método SCS-CN para um mesmo uso e ocupação da terra, e um mesmo tipo de solo para a bacia hidrográfica analisada.

Para a determinação dos valores CN conforme a metodologia do NRCS, os pesquisadores utilizaram mapas topográficos com informações do uso da terra e dados estatísticos da região para determinar a cultura nas áreas de terra arável (25% batata; 65% grãos; 10% alfafa), perfazendo 70% da área total da bacia hidrográfica. Também obtiveram mapas com informações de solos da bacia. De posse de todas as informações o valor CN médio da bacia hidrográfica foi determinado de acordo com a metodologia contida em NRCS (1972).

O valor CN empírico foi determinado a partir de dados de precipitação e escoamento superficial coletados na bacia hidrográfica aplicando-se a equação a seguir:

$$CN = \frac{25400}{S + 254} \quad \text{Eq. 13}$$

Onde:

CN = valor CN (adimensional);

S = capacidade de armazenamento de água do solo (mm);

Fonte: Hawkins (1973) apud Banasik; Woodward (2010);

A variável 'S' foi determinada a partir da equação a seguir:

$$S = 5(P + 2H - (4H^2 + 5PH)^{0,5}) \quad \text{Eq. 14}$$

Onde:

P = precipitação (mm);

H = escoamento superficial – precipitação efetiva (mm);

S = Capacidade de armazenamento de água pelo solo;

Fonte: Idem;

Os valores CN variaram de 59,9 a 97,1 ocorrendo a redução dos valores CN com aumento da precipitação incidente. Os resultados apresentaram que para precipitações maiores do que 20 mm, os valores CN empíricos e os valores CN estimados foram próximos. A média do valor CN empírico foi de 82,1 - a partir dos dados de precipitação-escoamento superficial - para todos os eventos analisados foi significativamente maior que o CN teórico (74,6) – estimado a partir dos dados físicos, e de uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica analisada. O valor CN

encontrado para eventos com precipitação maiores do que 30mm (68,3) foi menor que o CN teórico (74,6) (BANASIK; WOODWARD, 2010).

Os autores concluíram ser possível a utilização do Método SCS-CN original na área estudada e adjacências do território polonês com as mesmas características físicas. O valor CN encontrado a partir dos dados coletados reduziram-se à medida que houve aumento da precipitação incidente, e variaram sazonalmente com a redução do valor CN durante a estação de crescimento, ou seja, o crescimento da vegetação levaria a um maior retenção de água e menor escoamento superficial, e portanto, reduzindo o valor CN (BANASIK; WOODWARD, 2010).

Com o objetivo de avaliar a viabilidade e a eficiência do parâmetro CN (principal parâmetro do Método SCS-CN), desenvolveram uma pesquisa na bacia hidrográfica do rio Ivaí no Estado do Paraná, que apresentava dados de chuva e vazão, bem como produtos cartográficos da área. A bacia hidrográfica do rio Ivaí possui diversos tipos de solo, como: cambissolos, latossolos, neossolos, entre outros. O clima da região varia do subtropical (alto curso da bacia hidrográfica) ao tropical (médio e baixo cursos da bacia hidrográfica). O banco de dados físicos da bacia hidrográfica foi composto por informações obtidas em imagens Landsat e mapas pedológicos da EMBRAPA (SOARES et al., 2017).

As imagens Landsat foram utilizadas para verificar as mudanças de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica ao longo do tempo. Imagens de satélite são utilizadas para estimar os valores CN de uma bacia hidrográfica, e inclusive, alguns trabalhos são desenvolvidos para simplificar e adaptar os valores CN das tabelas originais do NRCS, ocorrendo uma redução dos valores CN, reduzidos de acordo com o uso e ocupação da terra identificados em imagens de satélites. O valor CN foi obtido a partir da associação entre os usos e ocupação da terra apresentadas pelas imagens Landsat. O grupo hidrológico do solo foi determinado por meio de informações de solos obtidas na EMBRAPA.

Segundo Soares et al. (2017, p.6), os valores CN foram simplificados e adaptados, resumindo-se ao uso agricultura, a corpos d'água, à pastagem, às florestas naturais e/ou silvicultura e para áreas urbanas. Foi definida uma curva de permanência para a bacia hidrográfica do rio Ivaí, ou seja, significa a capacidade da bacia hidrográfica em reter as águas superficiais e os dados de vazão (tempo de duração da vazão).

Importante frisar que a forma da curva indica as condições de escoamento da água na bacia hidrográfica, e segundo Destefani (2005) apud Soares et al. (Idem), “[...] quanto mais curvatura possuir a curva, maior é a variabilidade do fluxo, ocasionado por fluxos de vazão rápidos e pouca base de fluxo”. A curva de permanência da bacia hidrográfica do rio Ivaí mostra uma grande variação, onde em 10% do tempo de vazão do gráfico (curva de permanência), houve uma variação de 2.500 m³/s para 500 m³/s. Essa curva de permanência da bacia do rio Ivaí apresenta uma curvatura que indica um escoamento superficial muito variável, com baixa contribuição das águas subterrâneas e do lençol freático, o que é evidenciado nos períodos de estiagem com a vazões muito baixas.

A bacia do rio Ivaí foi identificada como possuindo 28% de sua área pertencente ao grupo hidrológico A (34% latossolos e 66% argilossolos), solos com textura arenosa, profundos e bem drenados, em 40% da área foi classificada como do grupo hidrológico B (60% latossolos, 39% nitossolos e 1% argissolos), solos também arenosos com pouca presença de argila, propiciando uma boa infiltração, reduzindo o escoamento superficial (SOARES et al., 2017). O grupo hidrológico C constituiu apenas 3% (48% cambissolos, 49% nitossolos e 4% neossolos), com maior concentração de argila se comparado aos solos pertencentes ao grupo B e, portanto, reduzindo a infiltração. Em vinte oito por cento da área houve predominância de solos do grupo D, com supremacia dos neossolos (99%), gleissolos e organossolos (1%) que complementaram a área do grupo D, solos estes com baixa capacidade de infiltração e que favorecem a formação do escoamento superficial (argilas pesadas e impermeáveis) (SOARES et al., 2017).

Determinando-se os usos e ocupação da terra e o grupo hidrológico do solo, foram atribuídos valores CN para os pixels da imagem para os períodos analisados na pesquisa, onde a imagem classificada com pixels de tonalidades escuras associa-se a CN baixos, e vice-versa. Na parte norte bacia hidrográfica detectou-se um aumento dos valores CN com o avanço da agricultura ao longo do período analisado, ou seja, um aumento do escoamento superficial do ano de 1986 para 2011 devido ao avanço agrícola na região norte da bacia do rio Ivaí. Mais da metade da bacia permanece com os mesmos valores CN identificados no ano de 1986, se comparados ao ano de 2011. Assim, observa-se que “[...] 22% dos pixels traduzem o aumento da impermeabilização e 15% a diminuição da mesma”. Atribuiu-se o aumento da impermeabilização ao avanço das áreas urbanas e de uso agrícola, e também aos solos frágeis com argilas que induzem à formação do escoamento superficial. Áreas de pastagens foram urbanizadas, o que resultou no “[...] aumento da curva de escoamento, ou na piora dos valores do CN (SOARES et al., 2017, p.12)”.

Assim, a curva de escoamento que apresenta o hidrograma se torna-se acentuada (fechada) quando há o aumento dos valores CN, ou seja, quando possui solos de grupos hidrológicos do grupo D, ou próximos, ou mesmo, quando há transformação, por exemplo, de áreas vegetação nativa em uso urbano. Uma acentuada curva de escoamento pode indicar uma bacia em que sua vazão tem pouca contribuição do lençol freático e uma alta participação da precipitação efetiva, ou seja, aquela parte da precipitação total que se transforma em escoamento superficial.

A bacia hidrográfica do rio Ivaí apresentou um valor CN (potencial de escoamento) médio-alto, CN igual 66 em 1986 e subindo para 68 em 2011. A análise de correlação canônica entre os dados de vazão e o Método SCS-CN apresentou-se muito significativa, expressando alta correlação entre as vazões e o Método SCS-CN. Segundo Gomes et al. (2017, p.14), os resultados da pesquisa na bacia hidrográfica do rio Ivaí “[...] confirmam a hipótese de que o CN

pode ser validado pela vazão, pois de acordo com os resultados, eles não são independentes e estão altamente relacionados [...]”.

De acordo com Gomes et al. (2017, p.15), o Método SCS-CN constitui em boa ferramenta para a identificação de áreas com fragilidades devido a alterações de usos e ocupação da terra ao longo do tempo. Também, os resultados demonstraram que o [...]:

[...] método do CN reflete a realidade dos elementos físicos da paisagem e seus processos e que a atribuição de pesos numéricos para se chegar a generalizações sobre áreas estudadas são coerentes com a realidade.

Um estudo realizado na Índia objetivou estudar o comportamento da precipitação-escoamento superficial em parcelas experimentais de estudo, comparando os valores CN das tabelas do NEH-4 com aqueles valores CN derivados de dados de precipitação-escoamento superficial coletados. Posteriormente, otimizaram-se os índices de abstração inicial (λ) e a capacidade de armazenamento de água do solo (S) a partir dos dados de precipitação e de escoamento superficial obtidos em 27 parcelas experimentais de estudo no território indiano. Foram avaliadas a performance do emprego do Método SCS-CN com $\lambda=0,20$ e a sensibilidade da variação de λ na determinação do escoamento superficial (LAL et al., 2016).

A capacidade de armazenamento de água do solo foi determinada a partir da equação a seguir:

$$S = \frac{(\{2\lambda P + (1 - \lambda)Q\} - \sqrt{\{2\lambda P + (1 - \lambda)Q\}^2 - 4(\lambda P)^2 + 4\lambda^2 QP})}{2\lambda^2} \quad \text{Eq. 15}$$

Onde:

S = Capacidade de armazenamento de água do solo (mm);

P = Precipitação (mm);

Q = Escoamento superficial (mm);

λ = índice de abstração inicial – relação Ia/S;

Fonte: Hawkins (1973) apud Lal et al. (2016).

A partir do conhecimento da capacidade de armazenamento de água do solo foram determinados os valores CN, denominados de valores CN-derivados, por meio da equação a seguir:

$$CN = \frac{25400}{S + 254} \quad \text{Eq. 16}$$

Onde:

CN = valor CN (adimensional)

S = capacidade de armazenamento de água do solo – mm

Fonte: Idem;

Inicialmente, valores CN foram determinados a partir das tabelas do NEH-4, considerando o grupo hidrológico do solo e o uso e ocupação da terra. Posteriormente, foi determinado o valor CN a partir dos dados precipitação e de escoamento superficial, com o uso das Equação 15 e Equação 16. A capacidade de armazenamento de água do solo foi determinada a partir da Equação 15 considerando índice de abstração inicial como 20% da capacidade de armazenamento de água do solo ($\lambda=0,2$), e então, determinados os valores CN por meio da Equação 16. Posteriormente, foram determinados novos valores CN, mas, com outros índices de abstração inicial obtidos por meio da ferramenta Solver do Excel (método dos mínimos quadrados) utilizando os dados de precipitação e de escoamento superficial coletados em *locus*. Portanto, foram determinados valores CN com valores λ otimizados e com valores $\lambda=0,2$.

A condição antecedente de umidade (AMC) foi determinada de acordo com a precipitação dos 5 dias anteriores ao evento pluviométrico analisado. Foram analisados eventos pluviométricos (precipitação e escoamento superficial) naturais que vão desde volumes de 6 mm a 75 mm em parcelas ‘fixas’ – três estágios de desenvolvimento da cultura – em diferentes declividades, usos da terra e grupo hidrológico do solo (LAL et al., 2016).

Obtiveram-se valores CN para cada evento analisado nas parcelas individuais usando as Equações 15 e 16 com $\lambda=0,2$, e comparados com valores CN conseguidos com outros valores

de λ a partir do emprego do método dos mínimos quadrados. Conforme os autores, os diferentes usos da terra (cana-de açúcar; Milho; feijão e área em pousio) analisados não mostraram diferenças significativas nos valores CN, com exceção do uso cana-de-açúcar que apresentou maiores valores CN que os usos feijão e área em pousio. As declividades analisadas (5%; 3% e 1%) não apresentaram efeito sobre os valores CN, e foram estatisticamente insignificantes.

De acordo com Lal et al. (2016, p.9), os valores CN da pesquisa foram influenciados pela capacidade de infiltração do solo, porque os grupos hidrológicos do solo analisados apresentaram diferenças estatisticamente significativas. O valor de “S” e de “ λ ” foram obtidos com o emprego do método dos mínimos quadrados a partir da utilização dos dados coletados de precipitação e de escoamento superficial. O método dos mínimos quadrados foi aplicado aos dados naturais e aos dados ordenados em pares de precipitação e de escoamento superficial (P-Q) - ordenados do maior para o menor (*ordered data*) – ou seja, os pares de precipitação e de escoamento superficial não foram necessariamente os dados ocorridos naturalmente. Os dados naturais apresentaram valores CN de 64.73 a 90.33, e para os dados ordenados, de 67.47 a 90.59. Conclui-se que a capacidade de infiltração do solo “[...] *is the main explanatory variable for runoff production in the study plots*”. Houve uma relação inversa entre CN e a capacidade de infiltração do solo, ou seja, quanto maior CN menor a capacidade de infiltração.

O valor CN obtido nas tabelas do NEH-4 foram comparados com os valores obtidos a partir de dados naturais (e ordenados) de precipitação e do escoamento superficial obtidos nas parcelas experimentais. Os valores CN obtidos no NEH-4 variaram de 58 a 88. Com o método dos mínimos quadrados para os dados naturais os valores CN variaram de 64,73 a 90,33, e para os dados ordenados de 67,47 para 90,59. Em suma, os valores CN com dados ‘P-Q’ foram maiores que os valores CN do NEH-4.

Segundo LAL et al. (2016), há um melhor desempenho do Método SCS-CN quando analisados eventos ‘P-Q’ elevados, ou CN elevados. Os valores CN ordenados são maiores do

que os valores CN naturais, como demonstrados por outros autores. Indicam a utilização do valor CN ordenado ao invés do CN obtido nas tabelas do NEH-4 para áreas com características físicas semelhantes às parcelas experimentais.

1.4 Índice de abstração inicial (λ)

O método frequentemente utilizado em diversas pesquisas para a determinação dos índices de Ia (λ) denomina-se 'análise de evento', que consiste em monitorar os eventos pluviométricos, conhecendo-se o hietograma e o hidrograma da bacia hidrográfica. A análise de evento inicia-se com a observação dos eventos pluviométricos, e o volume de precipitação desde o início do evento até o instante que se inicia o escoamento superficial direto constitui a Ia. Conhecendo a abstração inicial e a capacidade de armazenamento de água do solo, cada evento pluviométrico forneceu uma relação Ia/S (denominada de ' λ '), e os valores médios dessa relação foram usados para caracterizar a bacia hidrográfica (BALTAS; DERVOS; MIMIKOU, 2007; HAWKINS; KHOJEINI, 2000; WOODWARD et al., 2003).

No artigo apresentado por Hawkins e Khojeini (2000), objetivou-se adequar os percentuais de abstração inicial, utilizando-se dados de precipitação e de escoamento superficial de bacias hidrográficas mediante a 'análise de evento'. Foram analisados dados de precipitação e de escoamento superficial em pequenas bacias hidrográficas dos EUA com o predomínio da agricultura, e os eventos pluviométricos selecionados foram superiores ou iguais a uma polegada (25,4 mm) e, também, em bacias hidrográficas onde foram observados, no mínimo, 20 eventos dessa mesma natureza.

Os dados forneceram um gráfico de frequência acumulada da média de Ia/S, onde os valores encontrados de Ia/S foram predominantemente menores do que o 0,20 proposto pelo SCS, sendo o mínimo de 0,0005; a média encontrada foi de 0,0607; a mediana de 0,0380 e o

valor máximo de 0,2907. Das 86 bacias hidrográficas analisadas, apenas 5 apresentaram valores maiores que 0,20, e afirmam que 0,05 apresenta-se como um índice mais apropriado para a relação Ia/S (HAWKINS; KHOJEINI, 2000).

De acordo com Hawkins e Khojeini (2000), a partir do procedimento estatístico denominado *General Model Fitting* (método estatístico dos mínimos quadrados), ajustaram-se os índices de abstração inicial e a capacidade de armazenamento de água do solo. Para a aplicação do *General Model Fitting*, utilizaram-se dados de quatro fontes diferentes. Para os dados obtidos nas bacias hidrográficas (urbanas) de Tucson (Arizona) os valores de abstração inicial tanto para a média como para a mediana foram de zero.

Prosseguindo com a discussão, Hawkins e Khojeini (2000) trazem que um dos maiores índices médios de Ia/S foram obtidos nas bacias hidrográficas agrícolas localizadas no leste e no meio-oeste estadunidense, com $\lambda = 0,0755$, mas, mesmo assim, inferior a $\lambda = 0,2$. Nos dados naturais fornecidos por Hewlett et al. (1984) citado por Hawkins e Khojeini (2000), a partir de 17 bacias hidrográficas florestadas, a média de Ia/S foi de 0,0584 e a mediana foi zero. As análises dos dados ordenados apresentaram uma média de 0,1143 e uma mediana de 0,0215, superior aos dados naturais.

Nos dados fornecidos pela *Jornada Experimental Range* (EUA), os dados naturais apresentaram uma média de 0,0122 e a mediana foi zero. Nos dados ordenados a média foi de 0,1699 e a mediana 0,0037, superior aos resultados apresentados com dados naturais e inferior aos 0,2 do SCS. Os dados de precipitação e de escoamento superficial das bacias hidrográficas agrícolas fornecidos pelo Departamento de Agricultura dos EUA apresentaram para os dados naturais uma média de 0,0755 e a mediana foi zero. Os dados ajustados da Jornada apresentaram uma média de 0,1572 e a mediana 0,0966. Somente as médias dos dados ajustados apresentaram valores próximos aos 0,2, e a mediana foi próxima a 0,05. As médias dos dados naturais ficaram

próximos a 0,05, distante dos 0,2 oficialmente definidos pelo SCS (HAWKINS; KHOJEINI, 2000).

Em um estudo realizado no Brasil objetivando a definição dos índices de abstração inicial por meio do método análise de evento, região localizada no sul do Estado de Minas Gerais, o índice médio da abstração inicial foi de 0,0155, e observou-se uma enorme variabilidade de λ (0 a 0,081), concluindo não ser eficiente a determinação da abstração inicial "[...] baseada apenas no armazenamento potencial do solo (MELLO et al. 2003, p.494)". Outro artigo publicado por Yuan et al. (2014), relata não ser eficiente a taxa de $\lambda = 0,2$ para as bacias hidrográficas analisadas que localizam-se no sudeste do Arizona, região de clima semiárido e, portanto, afirmam que a estimativa do escoamento superficial pode ser prejudicada pelos valores da abstração inicial, principalmente, em eventos de baixa intensidade e volume, e em bacias hidrográficas que possuem solos profundos e porosos, características de climas semiáridos, a exemplo do estado do Arizona (EUA). Concluiu-se que quanto maior a área do canal de drenagem da 'bacia hidrográfica intermitente' e a presença de solos profundos, com textura grosseira e com boa porosidade, muitos dos que são encontradas em bacias hidrográficas de regiões semiáridas, menores serão os índices de Ia, e que, a interferência da Ia na determinação do escoamento superficial aumenta com a redução dos valores CN, a exemplo de bacias hidrográficas de regiões semiáridas, as quais tendem a possuir valores CN baixos. Salienta-se que os valores ideais para os índices de Ia para bacias hidrográficas localizadas no semiárido podem variar de 0,01 a 0,53. Ainda nesse sentido, afirmam que quanto maior a área do canal de drenagem da bacia hidrográfica, maior será o potencial de armazenamento de água no solo, e quanto mais grosseira a textura maior será a Ia (YUAN et al., 2014).

De acordo com Baltas et al. (2007), a partir de um estudo conduzido em uma bacia hidrográfica experimental em Attica (Grécia), monitoraram-se eventos pluviométricos (pluviômetros) e de escoamento superficial (estações hidrométricas) com o objetivo de

determinar os índices de Ia. A área de estudo compôs-se por duas sub-bacias hidrográficas que apresentam características geológicas e de uso e ocupação distintas, no geral predominando pastagens. Para compor o banco de dados foram selecionados eventos pluviométricos com características específicas, como, por exemplo, a distribuição espacial uniforme da precipitação por toda a bacia analisada. As vazões médias do hidrograma consideradas no estudo foram superiores a $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ devido à área de 15 km^2 da bacia hidrográfica. Foram definidas as condições de umidade antecedente para cada evento analisado, considerando o volume de precipitação nos cinco dias anteriores. A separação do escoamento superficial direto do escoamento superficial de base procedeu-se com a observação dos pontos de inflexão do hidrograma, indicando o início e o fim do escoamento superficial direto. Finalmente definiu-se a abstração inicial como parte da precipitação desde o início do evento pluviométrico até o instante em que se inicia o escoamento superficial direto. O parâmetro capacidade de armazenamento de água do solo (S) foi obtido com o emprego da Equação Geral do Método SCS-CN, e dividindo-se a abstração inicial por S, obtendo-se os índices de abstração inicial (BALTAS et al., 2007).

A média do índice de Ia para as bacias hidrográficas (bacia hidrográfica norte e bacia hidrográfica sul) analisadas foi de 0,014, com um máximo de 0,037 e um mínimo de 0,004, predominando valores de 0,01, e afirmam que esses dados não estão relacionados com a intensidade da precipitação. A sub-bacia hidrográfica do norte apresentou uma oscilação na Ia de 0,014 a 0,054, com média de 0,037, superior à média aritmética de toda a bacia hidrográfica, provavelmente devido à maior capacidade geológica de reter chuva (maior capacidade de infiltração) e a menor antropização se comparada em relação à bacia do sul. Na bacia hidrográfica localizada ao sul encontram-se áreas residenciais, estradas e formações rochosas impermeáveis (BALTAS et al., 2007).

Para Ponce e Hawkins (1996), a quantificação da abstração inicial pode constituir-se em uma complexa questão, todavia, necessitando de investigação e do seu conhecimento. Em cálculos de escoamento superficial com a utilização do Método SCS-CN, ao serem adotados seus parâmetros originais, pode-se incorrer em erros na determinação do escoamento superficial, subestimando-o e podendo gerar graves problemas para o meio ambiente.

Lal et al. (2016) determinaram o valor λ a partir de dados 'P-Q' obtidos em parcelas experimentais. Foi obtido o valor de λ para os mesmos dados, mas, os dados foram ordenados em pares iguais de 'P-Q', em ordem decrescente. Os valores de λ foram obtidos na pesquisa com a utilização de dados naturais e ordenados por meio da ferramenta Solver do Excel. O valor de λ para os dados naturais variaram de 0 a 0,208 e para os dados ordenados de 0 a 0,659, e, em geral, os dados apresentaram valores menores do que $\lambda=0,2$, oficialmente adotado pelo NRCS. A média dos dados naturais foi 0,030 e a média dos dados ordenados 0,108, consistente com valores de outras regiões. O gráfico obtido por Lal et al. (2016), da abstração inicial versus a capacidade de armazenamento de água do solo (I_a/S) apresentaram não haver correlação entre os dados de I_a e S .

As análises de sensibilidade dos dados foram realizadas utilizando o valor de λ para otimizar o valor de S . De acordo com Lal et al. (2016), o aumento em λ levaria a um aumento do valor CN e, necessariamente, a uma redução de S . Conclui-se que um baixo valor de λ determina melhor o escoamento superficial e um alto valor de λ leva a uma piora na previsão do escoamento superficial. Os autores indicam que os dados são limitados, pois, foram obtidos em parcelas experimentais (tamanho da parcela), em uma determinada declividade, em tipos de solos específicos, considerando o uso da terra agrícola e podem ser utilizados para as mesmas condições climáticas. Salientam a necessidade de outros estudos dessa natureza para uma melhor aplicação da metodologia, inclusive estudos com estações automáticas de medição da precipitação e do escoamento superficial, otimizando os resultados.

Para os pesquisadores, a capacidade de infiltração do solo é a principal variável de produção do escoamento superficial (e conseqüentemente do valor CN) para as parcelas estudadas, se comparadas ao uso da terra e à declividade. Quanto maior a capacidade de infiltração, menor será o valor CN e vice-versa. Os valores CN derivados de dados de precipitação e de escoamento superficial são maiores do que os obtidos nas tabelas do NEH-4. Também, conclui-se que os valores CN de P-Q são próximos aos valores CN do NEH-4 quando tem-se valores CN altos ou grandes eventos P-Q, justificando um melhor desempenho do método quando nestes casos (grandes eventos P-Q ou altos valores CN) (LAL et al., 2016).

Pelo método dos mínimos quadrados e a partir de dados P-Q, os valores médios e medianos de λ foram 0,030 e 0, respectivamente, para os dados naturais. Para os dados ordenados, os valores médios e medianos de λ foram 0,108 e 0, respectivamente. A predição do escoamento superficial melhora na proporção que reduz λ , levando a uma alteração de $\lambda=0,2$ para $\lambda=0,030$. Assim, entende-se como necessários estudos para definir os índices de abstração inicial considerando as condições edafoclimáticas encontradas no planeta Terra, onde venham a aplicar o Método SCS-CN.

1.5 Utilização do simulador de chuva para determinação dos parâmetros do Método SCS-CN

As chuvas simuladas constituem-se em uma ferramenta para avaliar os processos hidrológicos e de erosão (RENARD, 1986 apud AITKEN; SAYRE, 2005), conferindo aos pesquisadores o controle dos processos envolvidos em uma simulação de chuva, realizando o experimento quando e como planejado. Os resultados obtidos com as simulações podem ser comparados com os dados naturais, pois, os simuladores possibilitam o controle da sequência de simulações de chuva, a intensidade e a quantidade de simulações, possibilitando o controle

das condições em que se realizam a simulação de chuva e a escolha do tamanho das parcelas experimentais utilizadas na simulação.

A utilização de chuvas simuladas apresenta-se como uma alternativa na obtenção de dados de escoamento superficial, da abstração inicial e da capacidade de armazenamento de água do solo de forma rápida e pode constituir-se em uma ferramenta auxiliar no estudo do comportamento hidrológico dos usos e ocupação da terra em bacias hidrográficas. O método SCS-CN constitui-se em uma rápida ferramenta para a obtenção de dados da capacidade de armazenamento de água e de escoamento superficial em bacias hidrográficas, todavia a seleção de valores CN nas tabelas do NRCS pode induzir a erros na estimativa do escoamento superficial, e esses modelos podem ser melhor calibrados e testados por meio de medições em campo (ELHAKEEM; PAPANICOLAOU, 2009).

De acordo com Elhakeem e Papanicolaou (2003, 2009), os simuladores de chuva constituem-se em confiáveis ferramentas para determinar o escoamento superficial e por via, valores CN, eliminando a necessidade de chuvas naturais e a intensidade da chuva pode ser controlada, podendo imitar uma chuva natural. De acordo com Beven (1983) e Bhuyan et al. (2003) citado por Elhakeem e Papanicolaou (2003), a escala é importante fator na análise da paisagem e por via, no conhecimento do escoamento superficial. Conforme Elhakeem e Papanicolaou (2009), o escoamento superficial ocorre em virtude de diversas variáveis, incluindo a duração e a intensidade da chuva, o tipo de solo, a umidade do solo, a cobertura e/ou uso da terra e a declividade.

Há diversos tipos de simuladores de chuva, como o modelo *rotating boom rainfall simulator* utilizado em estudos na Bacia Hidrográfica do Walnut Gulch em parcelas experimentais de dimensão 10,7 m x 3,05 m, utilizando-se também parcelas pequenas de 1,2 m x 0,6 m. Os autores sugerem que as simulações ocorram de acordo com as estações do ano e com repetições em três parcelas individuais, considerando o tipo de solo para os ecossistemas

estudados. Nos estudos na bacia hidrográfica do Walnut Gulch as parcelas foram definidas de acordo com a vegetação e a cobertura, como a cobertura natural de grama e arbustos com nenhum tratamento, vegetação cortada (semelhante a uma área que sofreu com o pastoreio) e terreno sem cobertura vegetal (solo nu). Uma amostragem da vegetação das parcelas, incluindo suas raízes, fazia parte dos procedimentos para o estudo, e para a caracterização da área representada (SIMANTON et al. 1986 apud AITKEN; SAYRE, 2005).

De acordo com Hawkins et al. (2010), a simulação de chuva constitui em uma técnica eficaz para a coleta de dados hidrológicos, mas, existem diferenças entre uma chuva simulada e a chuva natural devido a diferenças na resposta do escoamento superficial entre a chuva simulada e uma precipitação natural, também verificam-se diferenças tais como a área e a variabilidade das condições de uso da terra, a distribuição das chuvas na área de uma bacia hidrográfica, a inerente artificialidade das chuvas simuladas e ao limitado processo de escoamento superficial em parcelas experimentais.

CAPÍTULO 2 – PROCEDIMENTOS ADOTADOS PARA A OBTENÇÃO DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO, ESCOAMENTO SUPERFICIAL, ABSTRAÇÃO INICIAL, CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DO SOLO E VALOR CN

2.1 Descrição física da área de estudo

A região do Triângulo Mineiro insere-se na macrounidade dos Planaltos em Bacias Sedimentares, composta pelos Planaltos e Chapadas da bacia do Paraná. A área de estudo está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná formada ao longo do Fanerozóico e composta por litologias de idade Mesozóica, como os arenitos da Formação Botucatu, os basaltos da Formação Serra Geral e rochas pertencentes ao Grupo Bauru.

Os Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná, subunidade Planalto Setentrional da Bacia Sedimentar do Paraná, possuem relevo dissecado em formato tabular amplo com a presença de escarpas, como as encontradas nos cânions do rio Araguari próximos à cidade de Uberlândia. Esses desníveis abruptos apresentam rochas que se estendem da base em direção ao topo, encontrando:

[...] rochas Pré-Cambrianas do Grupo Araxá [...] basalto e arenito intertrapeado da Formação Serra Geral e arenitos Cretácicos do Grupo Bauru capeados pelos sedimentos Terciários e Quaternários (BACCARO, 1989, p.17).

Os basaltos da Formação Serra Geral no Triângulo Mineiro encontram-se recobertos por sedimentos do Grupo Bauru e por sedimentos cenozóicos, aflorando em grandes cursos d'água como, por exemplo, do Rio Paranaíba e alguns de seus afluentes como o rio Araguari (NISHIYAMA, 1989; ROSS, 2003). O basalto na cidade de Uberlândia aflora nos vales do rio Uberabinha e em seus afluentes.

Nos topos dos interflúvios, os basaltos são cobertos por sedimentos do Grupo Bauru e/ou por sedimentos cenozóicos, “[...] cujas espessuras não ultrapassam 60 m na área central da cidade”. Nas áreas de ocorrência do Basalto originaram-se os Latossolos ‘roxo’ e onde encontram-se as rochas do Grupo Bauru e os sedimentos cenozóicos encontram-se ainda outros tipos de solos característicos da região de textura arenosa (NISHIYAMA, 1989, p.12)”.

Ao sul da bacia hidrográfica do Glória encontra-se a Formação Marília e/ou os sedimentos cenozóicos assentadas sobre as rochas basálticas da Formação Serra Geral, e nesta região da bacia, encontram-se solos com textura arenosa. A fraca cimentação dos materiais encontrados na área favorece o aparecimento de processos erosivos, o que pode ser verificado na voçoroca do Glória, local de solos mais arenosos e onde a ação antrópica (retirada da vegetação; exploração de cascalho) favoreceu o surgimento de ravinas e voçorocas.

O município de Uberlândia divide-se em três unidades geomorfológicas: relevo dissecado; relevo intensamente dissecado e áreas de relevo com topo plano (BACCARO, 1989). A Fazenda Experimental do Glória localiza-se em áreas de relevo dissecado, com vertentes suaves, como pode ser verificado na citação a seguir:

O local de estudo se localiza na unidade geomorfológica de área de relevo dissecado, com declividade média de 5 a 15%, em uma vertente de colina, que apresenta um comprimento de rampa de aproximadamente 1.000 m de forma predominantemente convexa. Na alta e baixa vertente a declividade está entre 5 a 15%, no entanto na média vertente é mais acentuada ficando entre 15 a 25%. A bacia hidrográfica do córrego do Glória apresenta topos aplainados, vertentes longas com declividades leves, o que possibilita o uso de máquinas agrícolas (BIULCHI, 2005, p.77).

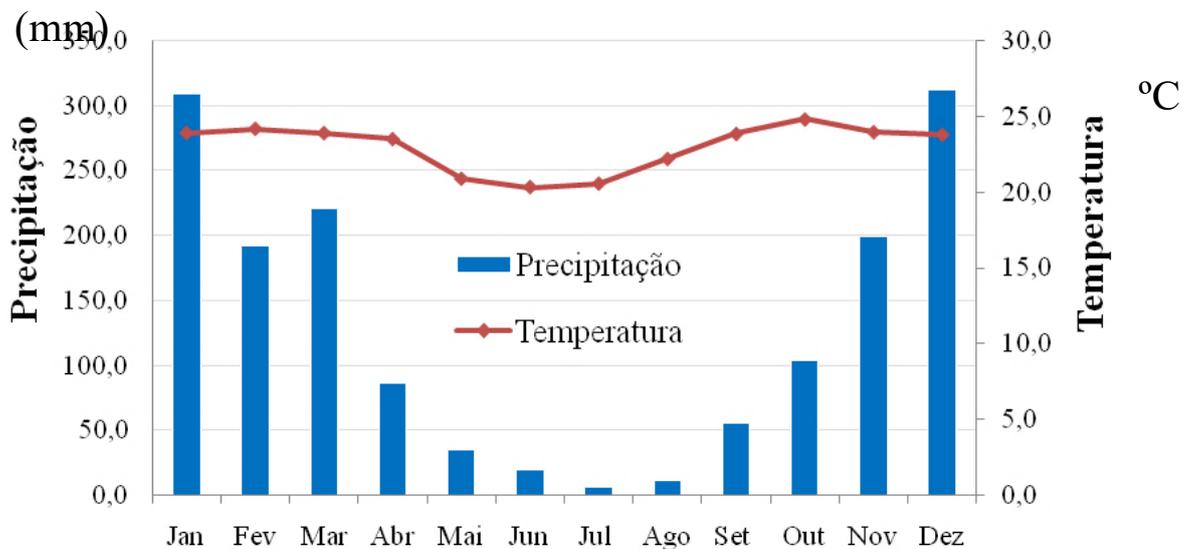
De acordo com Baccaro et al. (2001, p.123-124), a geomorfologia da área de estudo insere-se na unidade morfoescultural Planalto Tabular, e a geologia caracteriza-se pelo Grupo Bauru e pela Formação Marília, predominando o Latossolo Vermelho-Escuro e Vermelho-Amarelo de textura argilosa. Essa morfoescultura possui relevos com altitudes que variam de 950 e 1050 m, “[...] com topos planos, amplos e largos”. O relevo possui predominante

modelado suave, com formas denudacionais tabulares amplas - as formas denudacionais “[...] indicam em muitas áreas os processos erosivos pelos quais a região vem passando”. Assim, a paisagem da região, como destaca Silva (2006, p.7), é o [...]:

[...] resultado de atividades denudacionais e modelada por uma tipologia com forma convexa e tabular, a qual é bastante utilizada pelas atividades antrópicas, sendo alvo de uma grande substituição da vegetação original de Cerrado e de suas fitofisionomias, em detrimento, de uma agricultura intensiva, pecuária e expansão de área urbana [...].

Conforme a classificação climática de Köppen, a área de estudo está inserida no clima Tropical - tipo Aw, com temperaturas médias anuais acima de 18°C com duas estações bem definidas; uma estação chuvosa (verão) e uma outra estação seca (inverno). A precipitação oscila em torno de 1500 mm anuais concentrada no período de outubro a março. No climograma da Figura 4 observam-se aspectos da precipitação e da temperatura de Uberlândia.

Figura 4 – Climograma da cidade de Uberlândia – período de 1997 a 2009

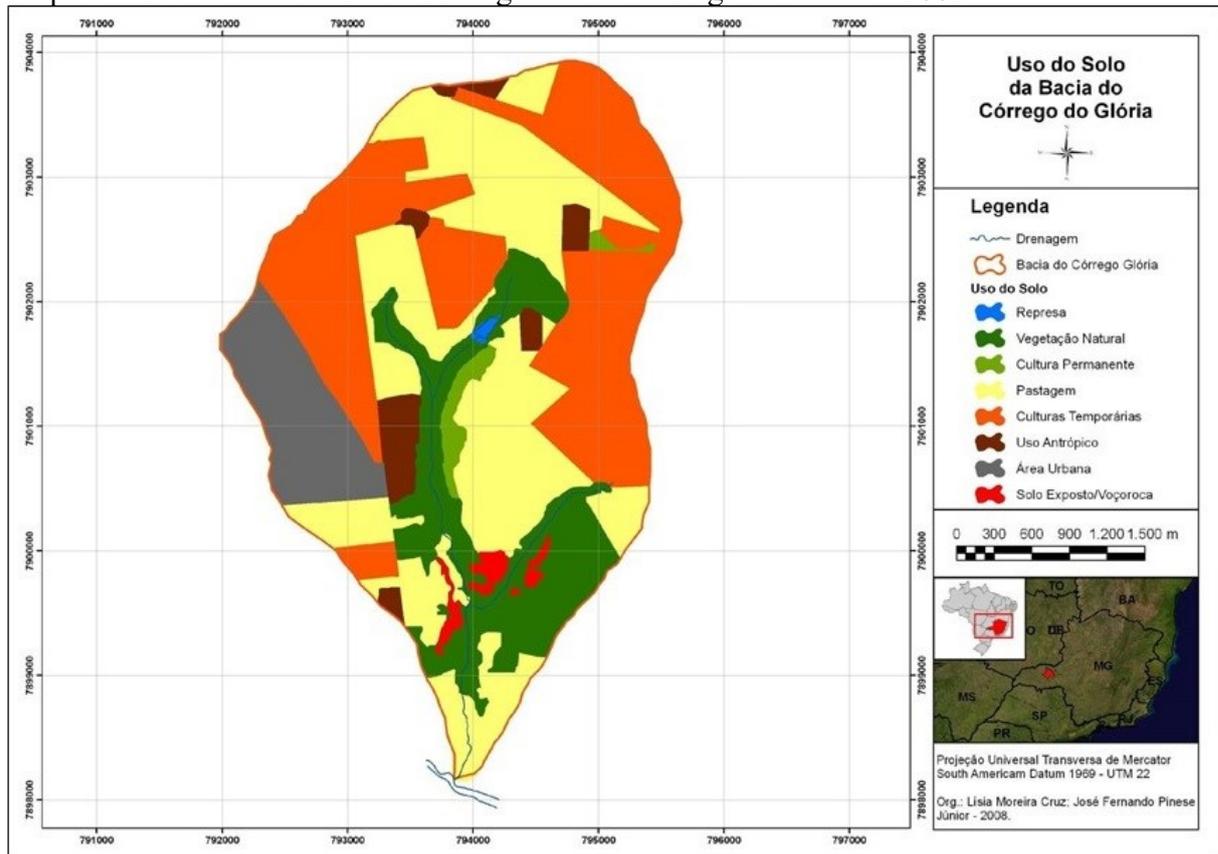


Fonte: Rica (2011, p.7) adaptado

A precipitação pluviométrica média para o período de 1997 a 2009 supera os 1500 mm anuais, concentrando-se nas estações da primavera -verão. A temperatura média anual para o período foi de 22,4 °C e as menores temperaturas são registradas nos meses de junho e julho. Na estação chuvosa o principal agente erosivo constitui-se na precipitação pluviométrica, e na estação seca, o principal agente erosivo é o vento. As principais massas de ar atuantes na região são: Equatorial Continental, Tropical Continental, Tropical Atlântica e Polar Atlântica. Cada uma dessas massas de ar atua em períodos distintos. Por exemplo, a atuação da Massa Polar Atlântica se dá no período de inverno, o que proporciona queda nas temperaturas na região.

A área de estudo insere-se no Bioma Cerrado, atualmente, muito antropizado e sua grande representatividade encontra-se em unidades da conservação da natureza. O restante do bioma foi transformado em áreas urbanas, transformado pela agropecuária, pelas edificações e por demais usos possíveis. Na bacia do córrego do Glória não é diferente, onde os fragmentos do cerrado estão presentes nas matas ciliares, matas de galerias, áreas de cerrado em regeneração e em uma pequena reserva ao norte da microbacia, com aproximadamente 25 ha, local de uma das nascentes do córrego do Glória. O Mapa 1 apresenta o uso e a ocupação da terra da bacia hidrográfica do córrego do Glória do ano de 2002.

Mapa 1 – Uso da terra da Bacia Hidrográfica do Córrego do Glória – 2002

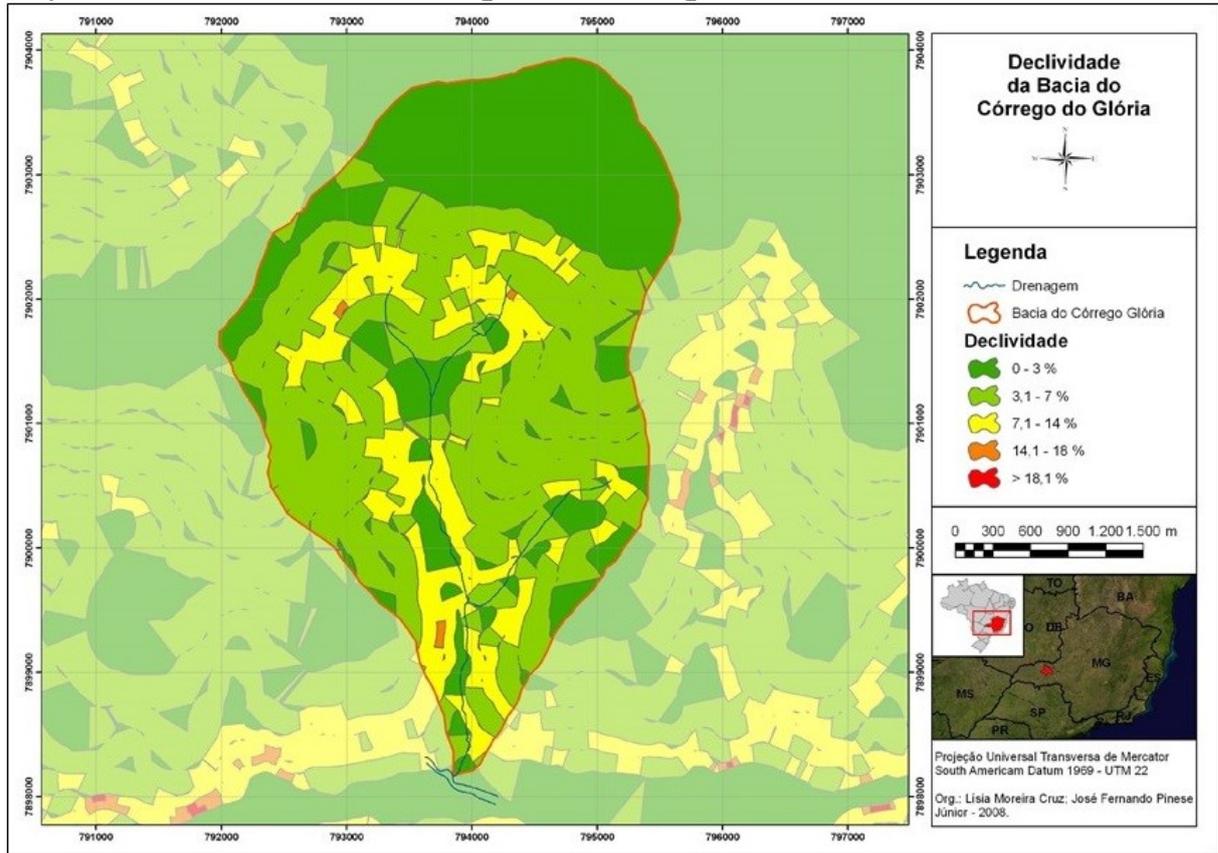


Fonte: Cruz et al. (2010, p.510)

As classes dos usos da terra definidos a partir da imagem de 2002 foram a vegetação natural (16,4%), área com proteção vegetal ou cultura permanente (1,5%), pasto (33,7%), culturas temporárias (34,1%), uso antrópico (3,9%), área urbana (8,9%), áreas de ravinas, de voçorocas e de solo exposto (1,3%). Observe que na bacia do córrego do Glória 67,8% do total são compostos de pastagens e culturas permanentes, compondo dois terços do total.

O oeste da microbacia é cortado pela BR-050, o que constitui uma ação antrópica marcante na microbacia hidrográfica do Glória. As classes de declividade foram definidas e são apresentadas no Mapa 2.

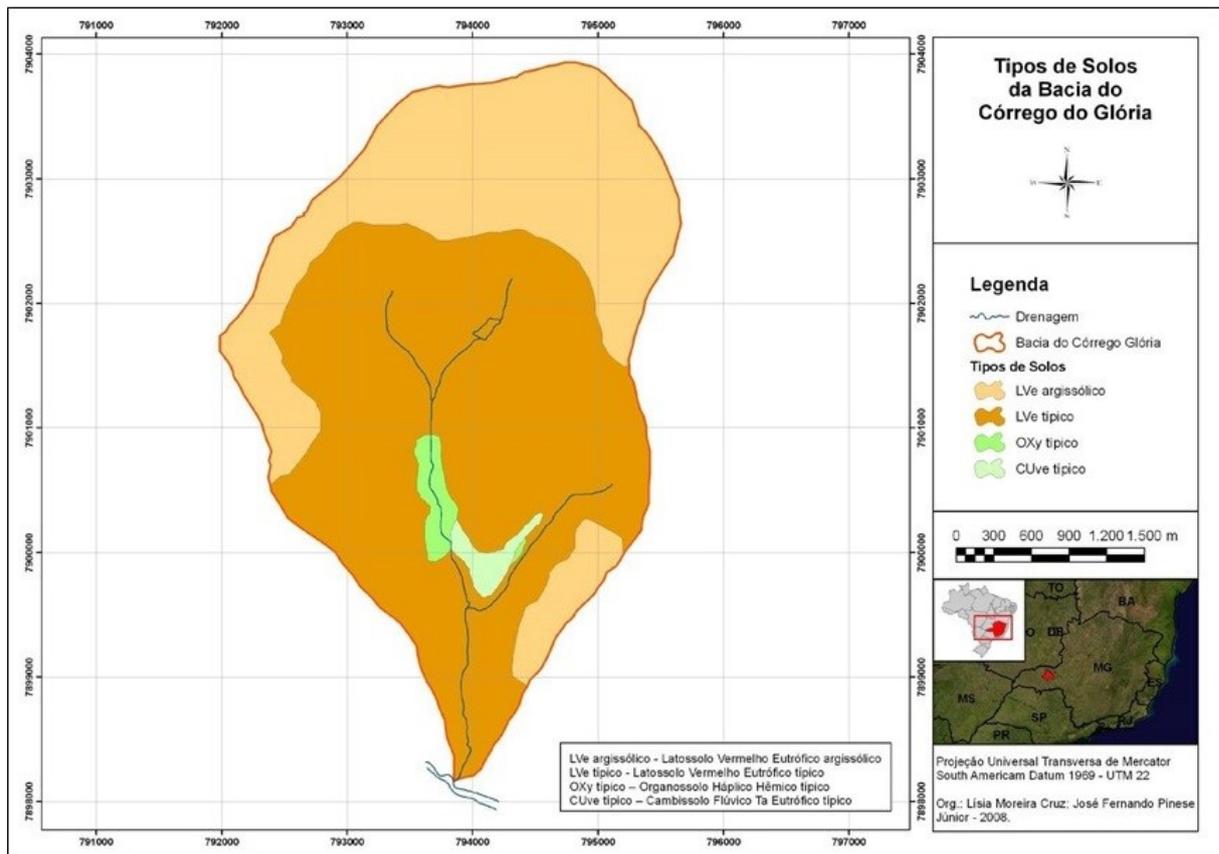
Mapa 2 – Declividade na bacia hidrográfica do córrego do Glória



Fonte: Cruz et al. (2010, p.512)

Observe que grande parte da bacia do córrego do Glória possui declividades que variam de zero a 7%, intervalo inserido no grau de declividade muito baixo ou baixo, indicando um relevo pouco acentuado. No Mapa 3, apresentam-se os tipos de solos da bacia do Glória onde observa-se o predomínio dos Latossolos em mais de 90% da área.

Mapa 3 – Tipo de solo da bacia hidrográfica do Córrego do Glória



Fonte: Cruz et al. (2010, p.513);

Os solos encontrados na bacia do Glória são o Latossolo vermelho (37%), o Latossolo vermelho-amarelo (60%), o Organossolo (2%) e o Cambissolo (1%). De acordo com Cruz et al. (2010, p.514), a análise integrada da declividade, do tipo de solo e do uso e ocupação da terra, denominada fragilidade ambiental (ou qualidade ambiental), realizada na bacia do córrego do Glória, evidenciou que 80% da área possui grau de fragilidade ambiental baixa ou média, ou seja, qualidade ambiental boa ou média, e as áreas de qualidade ambiental boa “[...] em grande parte são áreas que mantiveram sua vegetação natural”.

As áreas com média qualidade ambiental encontram-se em relevos menos declivosos, no entanto com uso agrícola degradante. As áreas com menor qualidade ambiental são representadas por áreas de solo exposto e as áreas urbanas presentes na bacia. As áreas com solos expostos e com predomínio de Cambissolo classificam-se com a qualidade ambiental baixa, devido principalmente ao grande potencial de erodibilidade deste tipo de solo. Conforme

Baccaro et al. (2001), na região de Uberlândia predominam os Latossolos de textura argilosa. Na Fazenda Experimental do Glória predominam os Latossolos Vermelho Distrófico com textura argilosa (BILIBIO, 2008; SILVA, 2008).

Como mencionado, ao sul da bacia do Glória encontra-se uma área de intensos processos erosivos, e atualmente encontra-se a voçoroca do Glória, área que foi fortemente impactada por ações antrópicas. Atualmente, encontra-se em processo de recuperação onde pesquisadores desenvolvem práticas de recuperação de áreas degradadas. O solo do lugar possui textura Franco-Arenosa nos 60 cm de profundidade e abaixo deste encontram-se cascalhos (CRUZ et al., 2010). Esse cascalho foi removido para a utilização em obras rodoviárias etc. e no local encontram-se algumas ravinas e voçorocas.

Estudo realizado na Fazenda Experimental do Glória da Universidade Federal de Uberlândia, utilizando parcelas experimentais de 10 m², teve por com o objetivo de analisar o processo de erosão pluvial entre usos da terra Milho, Soja, sorgo, revegetação natural, Braquiária, mata e solo exposto. Os resultados evidenciaram que as áreas com presença de Braquiária mantiveram a umidade do solo foi a Braquiária, devido à estrutura da planta proporcionar proteção ao solo contra as intempéries em períodos de estiagem, igualmente verificado em parcelas localizadas em áreas de matas que conta, muitas vezes, com dossel e serapilheira (PINESE JÚNIOR et al., 2008).

As áreas de solo exposto apresentaram umidade do solo variável devido à ausência de cobertura e oscilações em função das intempéries. A Soja e a revegetação natural revelaram-se melhor do que o sorgo na retenção de umidade pelo solo, fato atribuído à estrutura foliar das parcelas de Soja e da parcela com vegetação natural se comparadas com a estrutura do sorgo. Os diversos eventos pluviométricos analisados por meio das parcelas fixas apresentaram diferentes graus de erodibilidade, oscilando em função do volume, da duração e da intensidade da precipitação, o que indica variações no escoamento superficial, pois a ocorrência de grandes

volumes de chuva em um curto período induz à formação do escoamento superficial, conseqüentemente, implicando, no aumento da erodibilidade do solo.

Assim, “[...] em períodos de chuvas torrenciais as parcelas que apresentaram maiores valores de escoamento superficial também foram as parcelas que apresentaram maiores valores de umidade”, mostrando a influência da umidade do solo na formação do escoamento superficial (PINESE JÚNIOR et al, 2008, p.166). Analisando-se o comportamento do escoamento superficial nas parcelas experimentais, verificou-se que a cobertura vegetal reduz a formação do escoamento, funcionando como uma barreira física que dificulta a formação do escoamento superficial. Tais dados indicam que a densidade da cobertura vegetal e a presença da serapilheira no solo auxiliam a vegetação no controle da formação do escoamento superficial e no controle dos processos erosivos decorrentes. Salientam a importância das plantas na indução da infiltração, e conseqüentemente, aumentando a capacidade de absorção de água pelo solo. No entanto, em áreas de solo exposto há maior probabilidade de formação do escoamento superficial e o transporte de sedimentos.

Outro estudo realizado ao sul da bacia do córrego do Glória evidenciou duas tipologias de solos, predominando solos de textura arenosa seguida por pontos de solos com textura média, derivados da Formação Marília. Os solos encontrados foram: Organossolo textura média; Organossolo de textura arenosa; Latossolo textura média; Latossolo textura arenosa; Gleissolo textura média; Gleissolo textura arenosa. No Organossolo, encontra-se grande quantidade de matéria-orgânica (RODRIGUES et al., 2015).

Ao sul da bacia do Glória encontra-se uma voçoroca derivada de uma exploração de cascalho. A textura arenosa do solo ao sul da bacia do Glória “[...] com cerca de 700 g/kg^{-1} de areias [propicia] o processo de erosão entre sulcos, e conseqüentemente, a instalação de voçorocas (DA SILVA, 2010, p.61)”. Em uma área próxima à voçoroca do Glória, classificou-se o solo como Cambissolo Háptico Tb Distrófico fase cascalhenta, ou mesmo “não solo”. Os

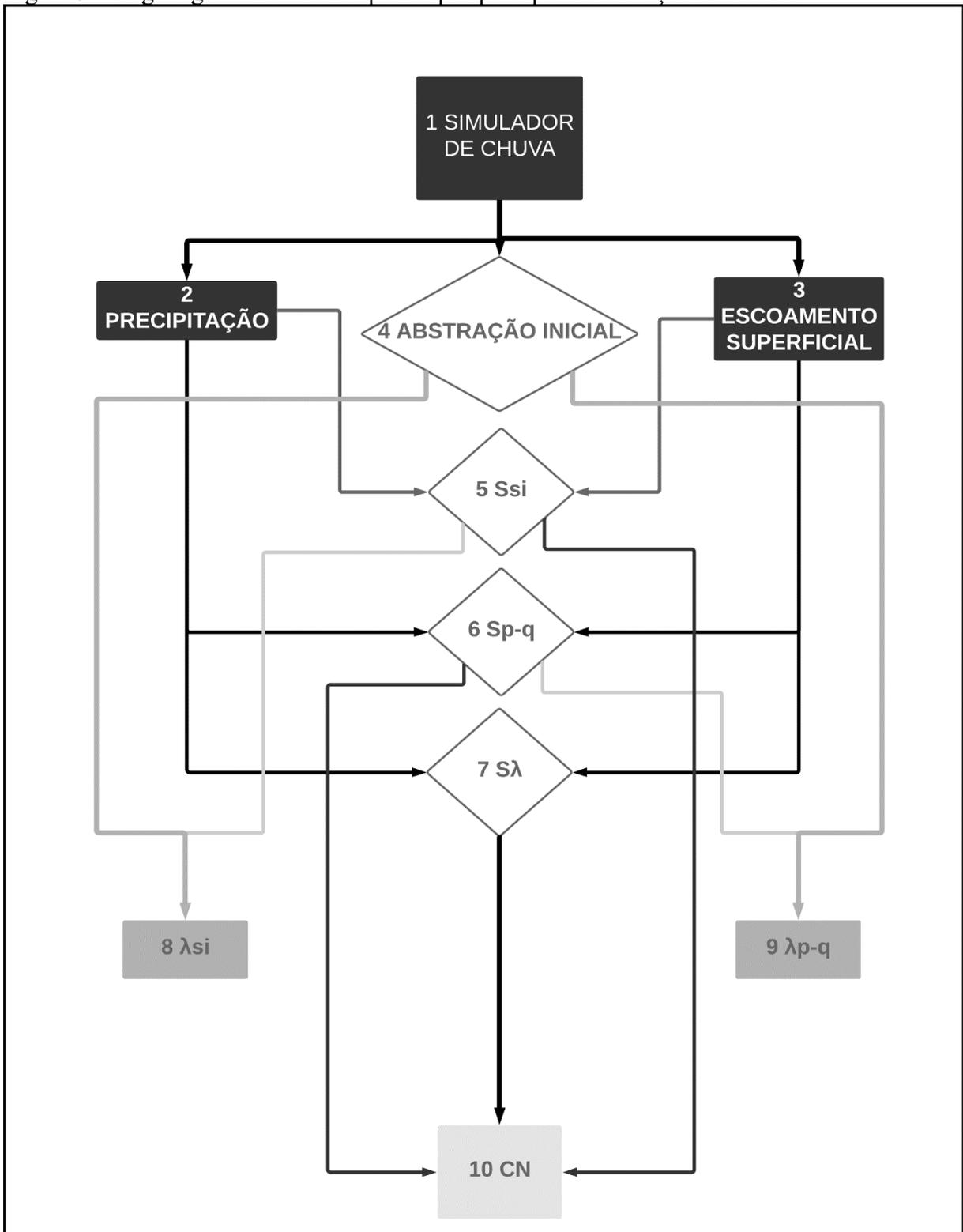
resultados indicam baixo teor de matéria-orgânica e “[...] baixa saturação por bases (SB), o que dificulta o estabelecimento da cobertura vegetal (*Idem*, p. 63)”.

Os dados de precipitação, de escoamento superficial e da abstração inicial foram obtidos a partir da utilização de um simulador de chuva em usos da terra selecionados na bacia hidrográfica do córrego do Glória. Posteriormente, os dados de precipitação, de escoamento superficial e de abstração inicial foram manipulados para a obtenção dos dados da capacidade de armazenamento de água do solo, os índices de abstração inicial e os valores CN para os usos e ocupação da terra selecionados.

2.2 Procedimentos para determinar I_a , λ , S e CN

Utilizou-se de um simulador de chuva previamente calibrado para obter os dados de escoamento superficial, o tempo e o volume de abstração inicial. Posteriormente, foram obtidos os dados da capacidade de armazenamento de água do solo, os índices de abstração inicial (relação I_a/S ou λ) e os valores CN, seguindo a ordem apresentada no organograma da Figura 5.

Figura 5 – Organograma com as etapas da pesquisa para a obtenção dos dados



Ssi – capacidade de armazenamento de água do simulador de chuva; **Sp-q** – capacidade de armazenamento de água da Equação Geral do Método SCS-CN, considerando $I_a=0,2.S$; **Sλ** – capacidade de armazenamento de água com índice de abstração inicial da pesquisa; **λsi** – índice de abstração inicial da pesquisa com o simulador de chuva; **λp-q** – índice de abstração inicial com a capacidade de armazenamento de água da Equação Geral do Método SCS-CN, considerando $I_a=0,2.S$; **CN** – valor CN;

A capacidade de armazenamento de água do solo foi determinada a partir da utilização dos dados de precipitação, escoamento superficial, e também, a partir de índices de abstração inicial. Neste sentido, foram utilizados três procedimentos para a obtenção da capacidade de armazenamento de água do solo, representados pelas etapas 5, 6 e 7 (Figura 5).

O volume de abstração inicial (etapa 4) obtidos na pesquisa para cada evento analisado e em alguns casos para cada parcela experimental nos usos da terra foram correlacionados com as capacidades de armazenamento de água para a obtenção dos índices de abstração inicial, ou seja, os índices de abstração inicial obtidos a partir da correlação com a capacidade de armazenamento obtida com o método do simulador de chuva e a partir de fórmulas existentes que podem considerar diferentes índices de abstração inicial.

Vale ressaltar que em algumas simulações o volume de abstração inicial utilizado para correlacionar com as capacidades de armazenamento de água do solo, para posteriormente produzir os índices de abstração inicial, foi o mesmo em todas as operações, ou seja, aquele único volume captado em cada teste realizado nos usos e a ocupação da terra experimentados, e que foi correlacionado às diferentes capacidades de armazenamento de água do solo para produzir os índices de abstração inicial.

Como mencionado anteriormente, o volume de escoamento superficial foi determinado pelo tempo, ou seja, desde o início da simulação de chuva até o instante em que se iniciou o escoamento superficial. Conhecendo-se o volume de precipitação em uma hora determinou-se o volume com base no tempo. Seguindo o organograma da Figura 5, as capacidades de armazenamento de água do solo utilizadas para produzir os índices de abstração inicial foram determinadas de acordo com os seguintes procedimentos:

1º A diferença entre o volume precipitado e o volume escoado pela calha determinou a capacidade de armazenamento de água do solo com o método nomeado aqui como do “simulador de chuva (Ssi)”. Relacionando o dado da abstração inicial (volume de Ia) com o

dado de Ssi, fixou-se o índice de abstração inicial com o simulador de chuva (λ_{si}) para cada evento pluviométrico analisado e/ou para cada calha (Etapa 5 e 8).

2° A partir do índice de abstração inicial λ_{si} , determinou-se uma nova capacidade de armazenamento de água do solo, mas, com os índices de abstração inicial obtidos com o simulador de chuva, mediante a seguinte equação (Etapa 7):

$$S\lambda = \frac{[2\lambda P + Q(1 - \lambda) - \sqrt{\{[Q(1 - \lambda)]^2 + 4\lambda QP\}}]}{(2\lambda^2)} \quad \text{Eq. 17}$$

Onde:

S = capacidade de armazenamento de água do solo (mm);

P = precipitação (mm);

λ = relação I_a/S ;

Q = escoamento superficial (mm);

Fonte: Hawkins et al. (2009, p.74);

Com a Equação 17 foi possível determinar a capacidade de armazenamento de água do solo com o índice de abstração inicial obtido com o simulador de chuva (λ_{si}). Essa nova capacidade de armazenamento, alcançada com o índice de abstração inicial do simulador de chuva, com dados de precipitação e de escoamento superficial obtidos na pesquisa, foi obtida com a finalidade de comparação com as outras capacidades de armazenamento de água do solo.

Utilizando a Equação 17, determinou-se uma nova capacidade de armazenamento de água do solo com a abstração inicial a 20% da capacidade de armazenamento de água do solo ($I_a=0,2 \cdot S$) para avaliação dos efeitos da alteração do índice de abstração inicial na determinação do armazenamento de água do solo e, conseqüentemente, nos valores CN. Esse armazenamento de água do solo com $I_a=0,2 \cdot S$, aqui denominado de ‘Sp-q’ (Etapa 6), produziu-se um novo índice de abstração inicial denominado de ‘ λ_{p-q} ’ (Etapa 9), obtido a partir da correlação entre o volume de abstração inicial determinado para as simulações e o armazenamento de água do solo denominado de ‘Sp-q’.

Com a obtenção das três diferentes capacidades de armazenamento de água do solo nas simulações realizadas nos usos e ocupação da terra foram determinados os respectivos valores CN por meio da Equação 18.

$$CN = \frac{1000}{10 + \frac{S}{25,4}} \quad \text{Eq. 18}$$

Onde:

CN = valor CN;

S = capacidade de armazenamento de água do solo (mm);

Fonte: USDA-NRCS (2004a, p.4);

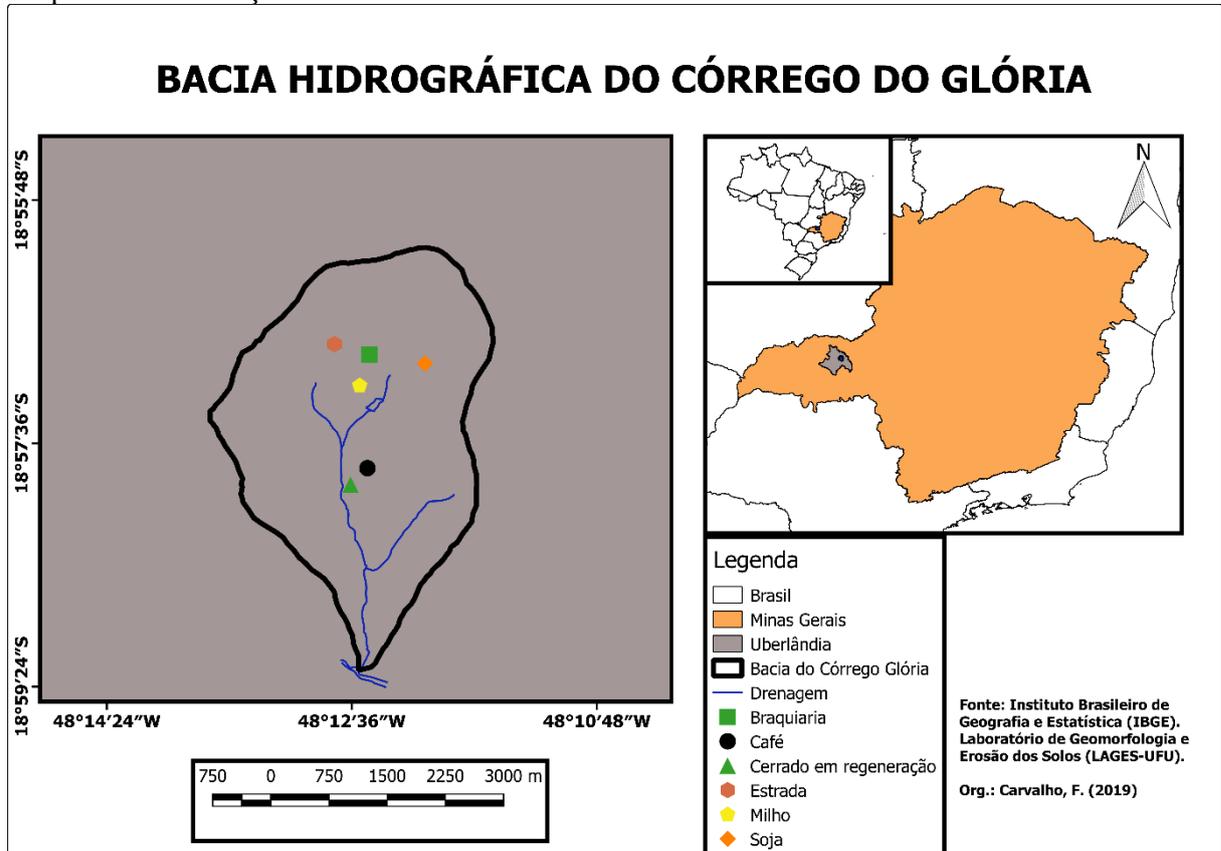
Portanto, cada capacidade de armazenamento de água do solo obtida nos usos e ocupação da terra selecionados, para cada evento pluviométrico e em cada parcela, produziu respectivamente, um valor CN que foi utilizado para comparação com os valores CN encontrados no NRCS.

Foram selecionados valores CN nas tabelas do NEH-4 (denominado de CN_{tb}). O valor CN_{tb} determinado para cada uso e ocupação da terra será comparado aos valores CN obtidos com os dados de precipitação, escoamento superficial e a abstração inicial obtidos com o uso do simulador de chuva. Foram realizadas analogias entre as diversas capacidades de armazenamento de água do solo, os seus respectivos valores CN entre os usos e a ocupação da terra e, também, entre as parcelas experimentais.

Como mencionado, a partir da Tabela 3, a condição antecedente de umidade (AMC) foi definida com base no volume de precipitação pluviométrica acumulada nos cinco dias anteriores à realização dos testes e, portanto, sendo possível selecionar os valores CN_{tb} contidos pelas tabelas do NRCS. Também foram comparados os índices de abstração inicial obtidos na pesquisa com os índices de abstração inicial adotados originalmente pela metodologia, e os índices de abstração inicial obtidos em outras pesquisas. No Mapa 4, observa-se a localização

da bacia hidrográfica do córrego do Glória onde foram realizadas as simulações de chuva nos usos e ocupação da terra.

Mapa 4 – Localização da área de estudo



Os experimentos com simulador de chuva foram realizados na Fazenda Experimental do Glória da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) localizada no sudeste do município de Uberlândia às margens da rodovia BR-050 no km 78. Na Fazenda Experimental do Glória são desenvolvidas atividades agropecuárias e produção de alimentos para os restaurantes universitários da UFU. Pesquisas são desenvolvidas na Fazenda do Glória e os mais de 400 ha da fazenda contam com uma reserva ambiental com mata de galeria, mata densa de cerrado que protegem as nascentes do córrego do Glória e matas ciliares em quase toda extensão do curso d'água até desaguar no rio Uberabinha.

2.3 Definição do grupo hidrológico do solo e da condição hidrológica

Foram definidos os grupos hidrológicos do solo de acordo com a classificação textural das amostras coletadas em cada uso e ocupação da terra nas profundidades de 15 cm e 30 cm com auxílio de um trado. As análises foram realizadas no LAGES (Laboratório de Geomorfologia e Erosão dos Solos – Universidade Federal de Uberlândia) a partir da metodologia disponibilizada pela EMBRAPA (1997).

Os grupos hidrológicos dos solos foram determinados conforme a classificação da textura proposta pelo NRCS (1986) e USDA-NRCS (2009). Para a definição do valor CN nas tabelas do NRCS necessita-se da definição do grupo hidrológico do solo, pois, este representa uma das variáveis para a definição dos valores CN a partir das tabelas do USDA-NRCS (2004). A partir da definição do grupo hidrológico do solo dos usos e ocupação da terra foram obtidos os valores CN_{tb} mediante as tabelas do USDA-NRCS (2004).

As coletas de solos para as análises de textura foram realizadas com uso de trado holandês ao redor das parcelas experimentais. Como mencionado anteriormente, as amostras de solos foram coletadas a 15 cm de profundidade e a 30 cm de profundidade e, em seguida, foram armazenadas para as análises laboratoriais. A citação a seguir descreve os procedimentos operacionais para determinação da areia, do silte e da argila dos solos analisados:

Fixa-se o tempo para o deslocamento vertical na suspensão do solo com água, após a adição de um dispersante químico (soda ou calgon). Pipeta-se um volume da suspensão, para determinação da argila que seca em estufa é pesada. As frações grosseiras (areia fina e grossa) são separadas por tamisação, secas em estufa e pesadas para obtenção dos respectivos percentuais. O silte corresponde ao complemento dos percentuais para 100%. É obtido por diferença das outras frações em relação à amostra original (CONFESSOR, 2017, p.46).

Na Tabela 4 apresenta-se a localização dos pontos onde foram realizados os testes de simulação de chuva e o grupo hidrológico do solo dos usos e ocupação da terra analisados.

Tabela 4 – Localização e grupo hidrológico do solo (HSG) pontos dos testes de simulação de chuva

USOS	HSG	LATITUDE	LONGITUDE
BRAQUIÁRIA	D	18°56'56,47"S	48°12'28,34"O
CAFÉ	C	18°57'46,99"S	48°12'29,17"O
CERRADO (REGENERAÇÃO)	C	18°57'54,39"S	48°12'36,59"O
ESTRADA	D	18°56'51,91"S	18°56'51,91"S
MILHO	D	18°57'10,31"S	48°12'32,59"O
SOJA	D	18°57'0,40"S	48°12'3,83"O

Concomitante à determinação do grupo hidrológico do solo foi quantificada a precipitação antecedente aos 5 dias anteriores à simulação para a definição da condição antecedente de umidade, conforme visualizado anteriormente na Tabela 3. O período do outono-inverno foi caracterizado como de repouso vegetativo e a condição antecedente de umidade I (AMC I) foi determinada quando da ocorrência de menos de 13 mm de chuva nos 5 dias anteriores. A AMC II foi determinada como a precipitação acumulada nos 5 dias anteriores entre 13 e 28 mm de chuva e a AMC III quando do acúmulo de precipitação maior do que 28 mm nos 5 dias anteriores.

Para o período da primavera-verão (período vegetativo), a AMC I (seco) foi definida com volume de chuva menor do que 36 mm acumulado nos 5 dias anteriores, o AMC II (condições médias de umidade) com o acúmulo de chuva entre 36 e 54 mm nos 5 dias anteriores à simulação. O AMC III (condição de umidade elevada) foi definido quando o volume precipitado nos 5 dias foi maior do que 54 mm. Assim, a partir de dados da Tabela 3, foram definidas as condições antecedentes de umidade estimando o valor CN_{tb} comparado aos valores CN derivados da pesquisa nos usos e ocupação da terra experimentados.

Nos capítulos 8 e 9 do USDA-NRCS (2002; 2004), é apresentado a definição da condição hidrológica do solo, pois, a condição hidrológica define os valores CN nas tabelas do NRCS (CN_{tb}), permitindo a classificação do uso da terra analisado. Por exemplo, em áreas agrícolas uma cultura em fileiras (*row crops*) como a Soja e o Milho, cultivadas em curvas nível, divide-

se na condição hidrológica boa (*good*) e ruim (*poor*) e nos grupos hidrológicos do solo A, B, C ou D. A partir dessa definição, determina-se o valor CN_{tb}, que fornece a capacidade de armazenamento de água do solo necessária para a determinação do escoamento superficial pelo método do SCS-CN.

Como mencionado anteriormente, a condição hidrológica define-se pela combinação de fatores que determinam o escoamento superficial e o processo de infiltração, como cobertura vegetal e dossel, quantidade de cobertura durante o ano e palhada. A categoria ‘ruim’ seria caracterizada por fatores que impedem ou limitam a infiltração e favorecem o escoamento superficial, e a categoria ‘bom’ seria relacionada a fatores que induzem a infiltração e, conseqüentemente, limitam a formação do escoamento superficial (USDA-NRCS, 2004b).

A seguir, apresenta-se como foi determinado o grupo hidrológico do solo para os usos e ocupação da terra analisados. Posteriormente, são destacados os procedimentos para a obtenção dos dados de precipitação, do escoamento superficial e da abstração inicial. Em seguida, são demonstradas as equações utilizadas para a obtenção dos dados de capacidade de armazenamento de água do solo e os respectivos índices de abstração inicial (relação I_a/S ou λ). Toda capacidade de armazenamento de água do solo gerou um respectivo valor CN, o que possibilita a comparação entre os usos e a ocupação da terra analisados e que serão comparados aos valores CN contidos nas tabelas do NRCS (CN_{tb}) e, também, aos valores CN obtidos em outras pesquisas.

2.4 Simulador de chuva, equipamentos e materiais utilizados nos testes de simulação de chuva

O simulador de chuva constitui-se por uma tubulação de aço galvanizado de 19 mm de diâmetro com 4,6 m de altura e um prolongamento da tubulação aos bicos aspersores com 5 m

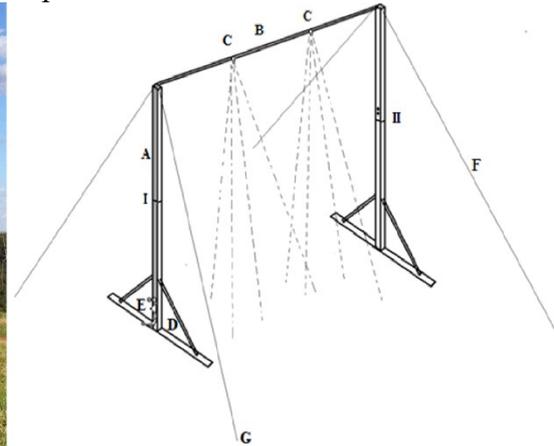
de comprimento (Figura 6 – B), que divide-se em partes iguais para com os dois bicos aspersores (Figura 6 – C) de marca FullJet ½ HH-30WSQ, com as seguintes características e benefícios:

- Padrão jato cone cheio de ângulo aberto com área de impacto quadrada e ângulos de pulverização desde 101° até 115° a 0,7 bar (10 psi);
- Modelo exclusivo de difusor proporciona distribuição de pulverização uniforme;
- Ideal para instalações que necessitem cobertura uniforme de áreas retangulares e /ou quadradas; (SYSTEMS, [s.d.], p. B51)

A sustentação da tubulação d'água foi realizada por duas hastes laterais com a finalidade de dar suporte à tubulação que conduz a água aos bicos aspersores (Figura 6 – A), sustentando a tubulação para o posicionamento vertical dos bicos aspersores em relação ao nível do solo.

O simulador de chuva fica a uma altura de 4,6 m em relação à superfície do terreno, altura suficiente para a chuva simulada assemelhar-se a uma precipitação natural. A distância entre um suporte lateral ao outro é de 5 m, o que possibilita a instalação das parcelas experimentais para a coleta do escoamento superficial. O simulador de chuva é de fácil transporte e instalação, podendo ser observados outros detalhes na Figura 6.

Figura 6 – Direita – Simulador de chuva instalado no uso da terra braquiária; Esquerda – Desenho de um simulador de chuva e os seus componentes



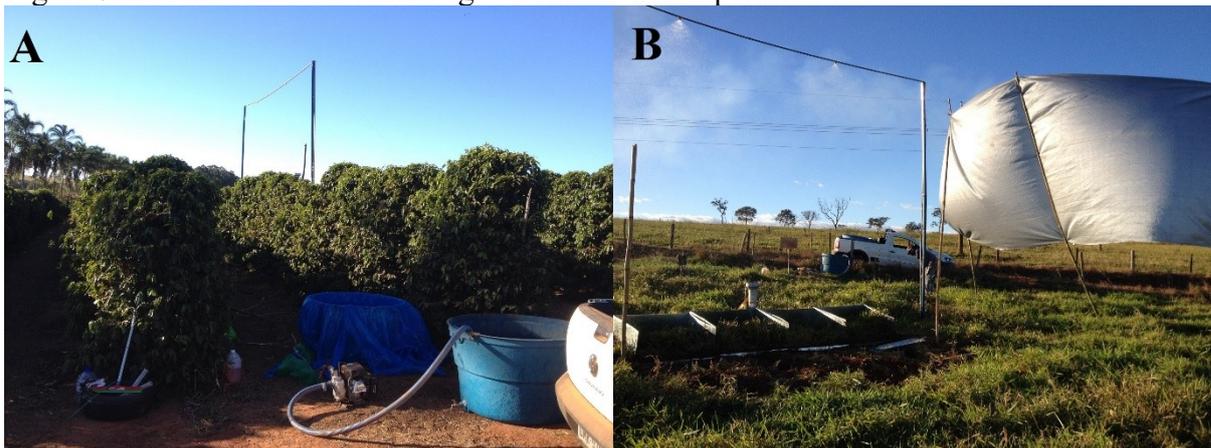
A – Haste principal; B – Haste conectora aos bicos aspersores; C – Bico aspersor; D – Registro d'água; E – Manômetro; F – Cabo de sustentação; G – Gancho fixo ao chão; I e II – conexões da base de sustentação do simulador;

Fonte: Luk; Abrahams; Parsons (1986);

O simulador de chuva confeccionado artesanalmente constitui-se de hastes localizadas em ambos lados, possuindo em suas bases suportes para manter o simulador fixo ao chão. Na base do cano condutor de água há um registro d'água e um manômetro para o controle da pressão. Para uma melhor sustentação e segurança na operação do simulador de chuva são utilizados cabos de poliéster presos à superfície por meio de ganchos de ferro.

A água é conduzida a partir de um reservatório em direção aos bicos aspersores por uma motobomba movida a gasolina de 4,5 HP de potência. A distância entre os dois bicos aspersores é de 2 m e o diâmetro médio das gotas é de aproximadamente 1,5 mm. Para o armazenamento da água foram utilizadas caixas d'água de polietileno com capacidade para 500 L (Figura 7 – A e B). A motobomba conduzia a água das caixas d'água através de mangueiras que se conectavam ao simulador de chuva, e a pressão no manômetro foi de 10 mb, capaz de produzir uma precipitação média de 66,5 mm/h.

Figura 7 – Moto bomba e caixa d'água utilizada nos experimentos



A – Aspectos da caixa d'água e da motobomba utilizada para o armazenamento de água nos testes de simulação de chuva; **B** – Simulação no uso da terra braquiária;

Os simuladores de chuva possibilitam a reprodução de chuvas naturais, pois, é possível regular a intensidade da chuva, o tamanho da gota, a homogeneidade na área aplicada, velocidade de queda e sua reprodução por inúmeras vezes (ELHAKEEM; PAPANICOLAOU, 2012).

2.5 Calibração do simulador de chuva e precipitação total

O volume de precipitação total foi obtido a partir da calibração do simulador de chuva conforme observa-se na Figura 8.

Figura 8 – Calibração do simulador de chuva



A e B – Processo de calibração do simulador de chuva;

Conforme Figura 8, os recipientes para a coleta de água foram distribuídos na superfície para captar o volume de precipitação e, a partir de então, foi estipulado o volume precipitado. Com uma pressão de 10 mb, o volume de precipitação foi de 66,5 mm/h. Esse volume de precipitação foi utilizado como o volume de precipitação incidente em 1 hora nas parcelas.

2.5.1 escoamento superficial e volume de abstração inicial no Milho

A cultura Milho do outono-inverno de 2017 foi plantada no dia 14 de março, após a gradagem, o nivelamento do solo e a adição de ureia. A área possui curva de nível e uma declividade de 11% (Figura 9).

Figura 9 – Instalação da parcela experimental da cultura do Milho



A – Visualização da mangueira coletora do escoamento superficial na parte frontal da calha;
B – Parcela experimental instalada na cultura do Milho com 15 dias de plantio;

O plantio foi realizado manualmente com espaçamento médio de 8 cm entre plantas e 30 cm entre as linhas, com adubação mineral. A área foi irrigada periodicamente, o que confere a ela elevado teor de umidade do solo, que pode interferir consideravelmente na condição antecedente de umidade do solo.

No uso da terra Milho foram realizadas seis simulações com apenas uma parcela experimental, e em um tempo para cada simulação de 60 minutos no período do outono-inverno. No dia 18 de abril de 2017 foram duas simulações de 60 minutos com intervalo entre as simulações de 15 minutos. No dia 04 de maio de 2017 foram realizadas outras duas simulações na cultura do Milho com uma parcela experimental, e com intervalo de 15 minutos entre as simulações.

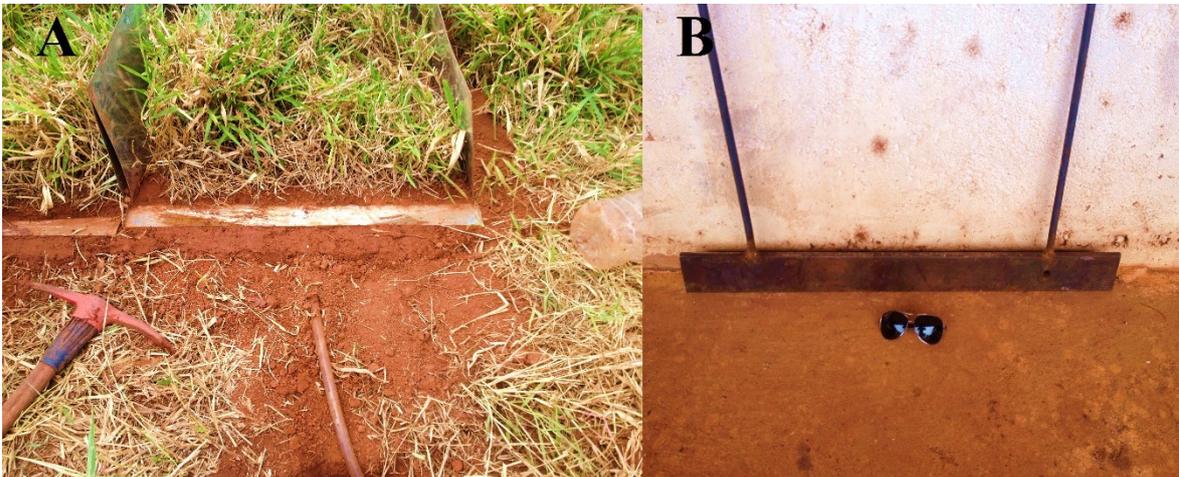
Outras duas simulações foram realizadas na cultura do Milho no dia 06 de maio de 2017 com intervalo entre as simulações de 15 minutos. No primeiro dia de simulação (18/04/2017) o Milho possuía 15 dias após o plantio (Figura 9). Na próxima rodada de simulação (04/05/2017), o Milho possuía 31 dias de plantio; e as duas últimas simulações (06/05/2017), o Milho possuía 33 dias após o plantio.

O volume de abstração inicial foi obtido a partir da medição do tempo, ou seja, foi marcado o tempo em que se iniciou a simulação, e considerou-se como abstração inicial desde

o início da simulação até o instante em que se iniciou o escoamento superficial na extremidade da mangueira fixada na calha coletora localizada na extremidade frontal da parcela experimental com a finalidade de coletar o escoamento superficial, conforme visualiza-se na Figura 9 - A.

As parcelas experimentais foram delimitadas por chapas de zinco com 1 m² de área e 25 cm de altura, com aproximadamente 5 cm são cravados no solo. A parcela experimental foi responsável por delimitar e direcionar o fluxo d'água conduzido até a calha coletora através de uma mangueira. Esse fluxo d'água estava direcionado ao recipiente de armazenamento para as posteriores leituras.

Figura 10 – Parcela experimental instalada no uso da terra Braquiária e ferramenta auxiliar de corte



A – Aspectos da parte frontal (calha coletora) de uma parcela instalada;
B – Aspectos da ferramenta de auxílio de instalação das parcelas;

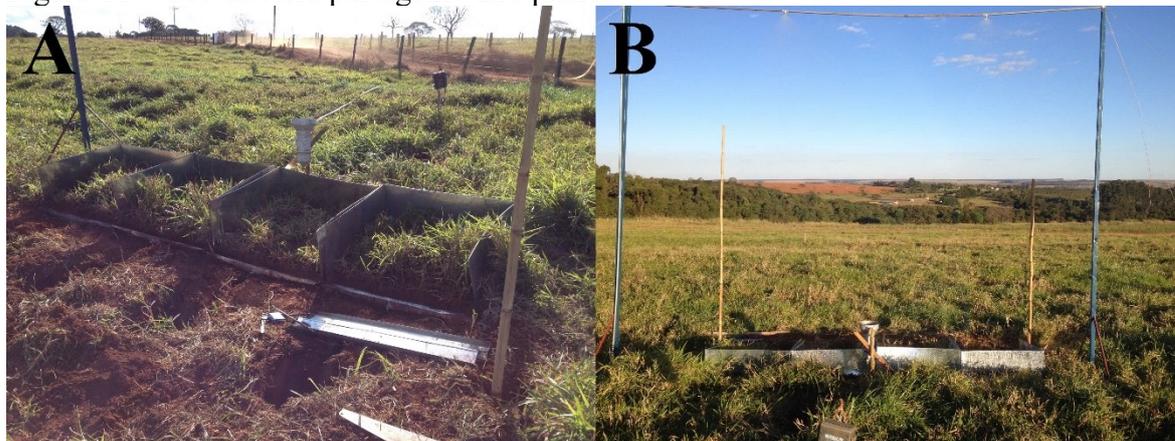
Para instalação da parcela experimental e da calha coletora utilizou-se de uma ferramenta de corte para a melhor fixação da calha coletora e das chapas laterais que delimitam a parcela (Figura 10 – B). A ferramenta de corte possibilitou a retirada do solo de forma retilínea, para o melhor ajuste da parcela experimental ao solo, delimitando a parcela e provocando o mínimo impacto no solo. A transformação do escoamento superficial de mililitros para milímetros ocorreu conhecendo-se o volume captado e a área da parcela.

2.5.2 Escoamento superficial e volume de abstração inicial no uso da terra Braquiária

No uso da terra Braquiária foram realizadas uma simulação no período do outono-inverno e três simulações no período da primavera-verão com a utilização de quatro calhas coletoras em cada simulação. A simulação do período do outono-inverno foi realizada no dia 25/06/2017 e teve duração de 30 minutos (neste caso o volume de precipitação foi 33,26 mm), com quatro calhas simultaneamente. Igualmente ao Milho, o volume de abstração inicial foi estimado como o volume de chuva acumulado desde o início da chuva até o instante em que começou a formar o escoamento na extremidade frontal da calha coletora.

Semelhante à simulação do período do outono-inverno, foram realizadas três simulações no período da primavera-verão, entretanto, com 60 minutos de duração cada. Uma primeira simulação, no período da primavera-verão na Braquiária, foi realizada no dia 27/10/2017; uma nova simulação foi realizada no dia 28/10/2017; e uma outra simulação foi realizada no dia 07/11/2017. Na Figura 11 observam-se aspectos das parcelas experimentais no uso da terra Braquiária.

Figura 11 – Uso da terra pastagem - Braquiária



A e B – parcelas experimentais instaladas na Braquiária;

A área da Braquiária possui boa qualidade da grama (Figura 11), compondo uma área onde ocorre o rodízio de piquetes no pastoreio do gado, teoricamente apresentando boa capacidade de reduzir o escoamento superficial e propiciar a infiltração. A declividade da braquiária foi de 9%, plantada há 6 anos com a *braquiaria decumbens*, introduzida após a gradagem e nivelamento do solo, correção do pH e adução, onde atualmente faz parte de uma série de piquetes de pastoreio (Figura 11 – B).

2.5.3 Escoamento superficial e volume de abstração inicial no uso da terra Cerrado

Foram realizadas simulações no uso da terra Cerrado no período do outono-inverno e no período da primavera-verão. As simulações no período do outono-inverno, ao todo, contabilizaram cinco simulações, sendo: uma simulação com 30 minutos (20/07/2017), duas simulações com 20 minutos (20/07/2017 e 22/07/2017) e duas simulações com 10 minutos de duração (22/07/2017).

No dia 20 de julho de 2017 foi realizada uma simulação com 30 minutos de duração e, em seguida, uma simulação com 20 minutos de duração, com um intervalo de cerca 15 minutos entre as mesmas ou até que escoamento nas calhas cessassem. No dia 22 de julho de 2017 foi realizada uma simulação com 10 minutos de duração, pausa de 15 minutos para cessar o escoamento superficial, uma outra simulação de 10 minutos, pausa de 15 minutos, finalizando com uma simulação de 20 minutos de duração.

Como mencionado, as simulações de 30 minutos tiveram um volume de precipitação de 33,26 mm, as simulações de 20 minutos com 22,17 mm e as simulações de 10 minutos um volume de 11,08 mm. Essas simulações de tempos de duração distintos foram realizadas para verificar a influência do volume de precipitação e, conseqüentemente, do escoamento superficial na capacidade de armazenamento de água do solo e dos valores CN.

Na Figura 12 observam-se as parcelas experimentais instaladas no uso da terra Cerrado. Na Figura 12 – A observa-se a quantidade de braquiária presente na área do experimento, devido esta área ser utilizada como pastagem, mas, que em alguns lugares, encontram-se fragmentos do cerrado (predominância de arbustos e algumas árvores), considerado como cerrado em regeneração.

Figura 12 – Aspectos do uso da terra Cerrado



A – Parcelas experimentais no Cerrado; observe a quantidade de braquiária no Cerrado;
B – simulador de chuva instalado acima da copa dos arbustos do cerrado;

A instalação do simulador de chuva foi realizada no dia anterior ao experimento e, em seguida, realizado o pré-molhamento de 30 minutos de duração, o que conferiu ao ambiente no momento da simulação uma condição de umidade maior. No período da primavera-verão foram realizadas duas simulações de 60 minutos cada, uma das simulações do realizada no dia 02 de dezembro de 2017 e a outra simulação foi realizada no dia 09 de dezembro de 2017. Da mesma forma que no período do outono-inverno foi realizado um pré-molhamento no dia anterior com uma simulação de 30 minutos de duração. A declividade da área onde foi realizado o experimento com o simulador de chuva foi de 18%. O cerrado analisado constitui uma área em processo de regeneração, que serviu como pastagem, mas, que possui fragmentos de cerrado-ralo (Figura 12).

2.5.4 Escoamento superficial e volume de abstração inicial no uso da terra Café

O experimento com lavouras de Café foi realizado no Setor de Cafeicultura da Fazenda do Glória (UFU), plantado em uma área que foi previamente arada e nivelada, com aplicação de calcário e adubações. A distância entre as plantas da mesma linha é de 0,7 m e a distância entre as linhas é de 3,5 m, sendo irrigado por gotejamento periodicamente. Realiza-se controle de ervas daninhas por meio da aplicação de herbicidas. O tipo de solo predominante foi de Latossolo Vermelho Distrófico com textura argilosa predomina. A topografia do relevo é levemente ondulada (BASTOS; MELO, 2008; DA SILVA; TEODORO; DE MELO, 2008). A declividade medida na área onde foi instalada a parcela experimental foi de 14%.

A área do Café arábica onde foi realizado o experimento caracteriza-se por cultivos em curvas de nível. A área do Café é irrigada, mas, nos dias da realização das simulações não havia irrigação e o solo é corrigido com a calagem do solo, adubação e roçado periódico. A Figura 13 apresenta o simulador de chuva e as calhas coletoras do instaladas no uso Café na Fazenda do Glória (UFU).

Figura 13 – Simulação no uso da terra Café



A – Simulador de chuva instalado na cultura do Café;

B – Parcelas experimentais e calhas coletoras do escoamento superficial instaladas no uso da terra Café;

As simulações no uso da terra Café ocorreram nos dois períodos analisados, com duas simulações em cada um dos períodos outono-inverno e primavera-verão. As simulações no período do outono-inverno foram de 30 minutos e no período da primavera-verão foram de 60 minutos cada.

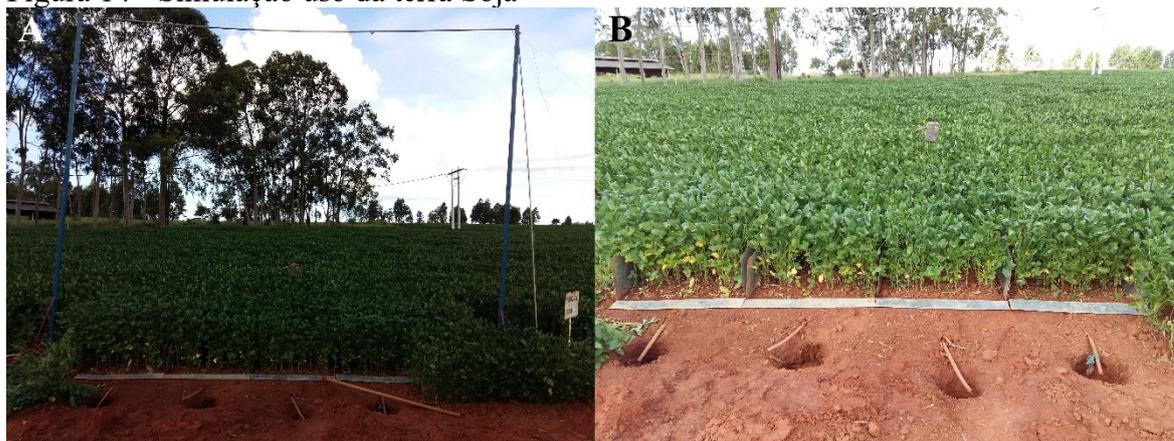
As simulações do período do outono-inverno ocorreram no dia 15/07/2017 com um intervalo de 15 minutos entre as mesmas e as simulações da primavera-verão ocorreram no dia 12/12/2017 com intervalo para cessar o escoamento superficial. As duas simulações no mesmo dia podem evidenciar a influência da precipitação antecedente nos valores CN e, por sua vez, no escoamento superficial.

O escoamento superficial foi captado nas calhas coletoras e direcionado a recipientes de armazenamento para a posterior leitura. No período do outono-inverno foi captado apenas um volume de abstração inicial nas duas simulações realizadas, e no período da primavera-verão foram captados volume de abstração inicial para cada calha coletora e para cada simulação realizada.

2.5.5 Escoamento superficial e volume de abstração inicial no uso da terra Soja

Na Figura 14 observam-se aspectos da cultura da Soja com o simulador de chuva instalado junto às parcelas experimentais. O cultivo da Soja se dá seguindo as curvas de nível com manejo adequado para a cultura. A realização do experimento se deu com 60 dias após o plantio.

Figura 14 - Simulação uso da terra Soja



A – Simulador de chuva instalado na cultura da Soja;

B – Parcelas experimentais e calhas coletoras do escoamento superficial instaladas no uso da terra Soja;

As simulações no uso da terra Soja foram realizadas no período da primavera-verão, com uma simulação realizada no dia 27/01/2018 e a outra simulação realizada 24 horas depois, e ambas com 60 minutos de duração cada. Foram coletados o escoamento superficial e o volume de abstração inicial para cada uma das 4 parcelas.

2.5.6 Escoamento superficial e volume de abstração inicial no uso da terra Estrada

Na Figura 15 são apresentadas fotografias do instante de uma simulação no uso da terra Estrada que se caracteriza por superfície de cascalho batido com declividade de 7,5%.

Figura 15 – Simulação no uso da terra Estrada

**A e B** – Instantes da simulação de chuva no uso da terra Estrada;

Foram realizadas duas simulações de 30 minutos cada, sendo uma simulação realizada no dia 24/07/2018 e uma outra simulação no dia seguinte. Foram obtidos dados do volume de escoamento superficial e o volume de abstração inicial de cada uma das quatro parcelas.

A abstração inicial foi determinada como o volume de precipitação acumulada até o instante em que se inicia o escoamento superficial, sequência de gotejamento formada na mangueira instalada na parte frontal da calha coletora. O volume de precipitação desde o início da chuva até o instante em que se inicia o escoamento superficial, consiste na abstração inicial (Ia).

Portanto, do início da simulação, o volume de chuva até o instante em que se iniciou o escoamento superficial na extremidade da calha, onde havia uma mangueira coletora transparente, para que fosse visualizada a formação do escoamento superficial, foi considerado como a abstração inicial. Foram determinados o tempo de abstração inicial (ou seja, período que compreende desde o início da precipitação até o instante em que se inicia o escoamento superficial) visualmente para cada calha coletora.

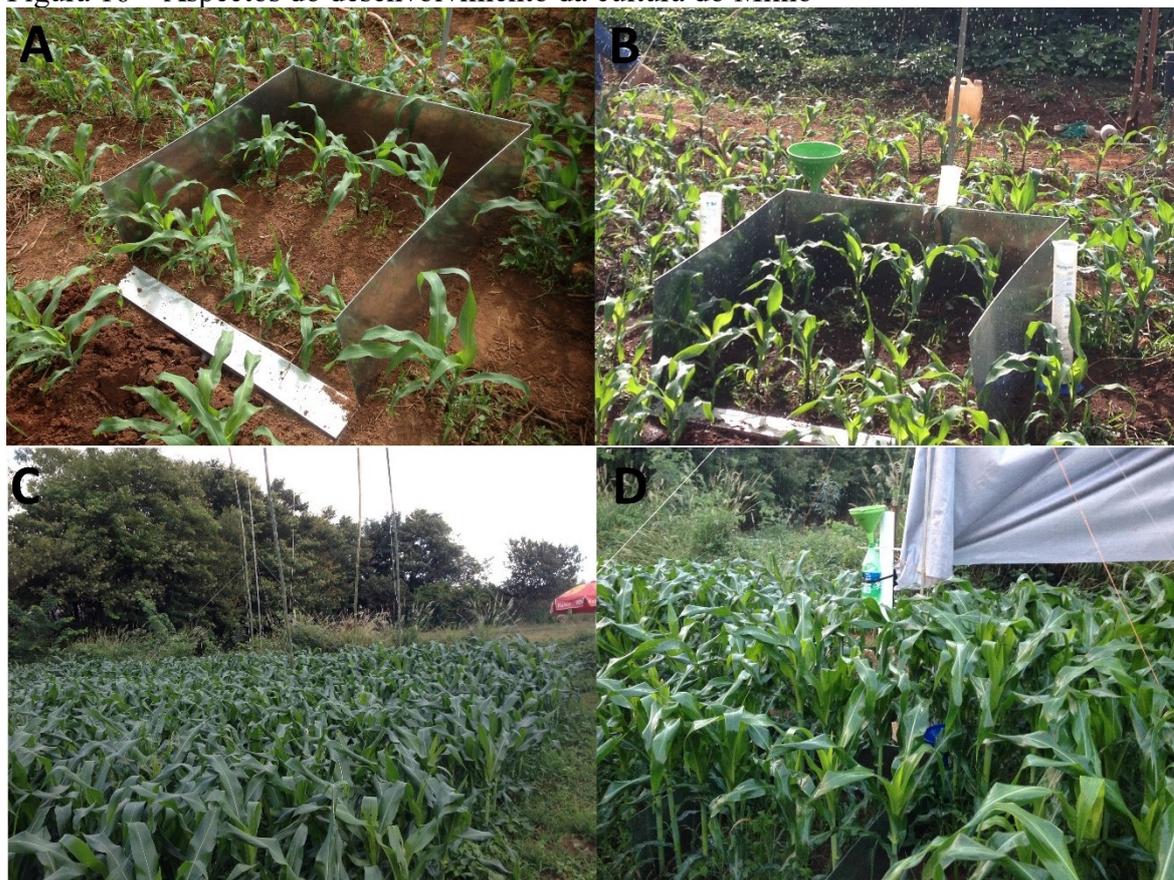
CAPÍTULO 3 – ESCOAMENTO SUPERFICIAL, ABSTRAÇÃO INICIAL, CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DO SOLO E VALORES CN PARA USOS DA TERRA COM A UTILIZAÇÃO DE SIMULADOR DE CHUVA

A partir do experimento com o simulador de chuva foram obtidos os dados do volume de escoamento superficial e o volume de abstração inicial. A seguir, são apresentadas as capacidades de armazenamento de água do solo, os índices de abstração inicial e os valores CN para os usos e ocupação da terra analisados.

3.1 Uso da terra – Milho

No uso da terra milho foram realizadas 6 simulações na cultura do Milho, e em cada simulação foram obtidos os dados da capacidade de armazenamento de água do solo e os respectivos valores CN para cada simulação. Correlacionando os dados das capacidades de armazenamento de água do solo com o volume de abstração inicial, obtiveram-se os índices de abstração inicial. Na Figura 16, observam-se aspectos do desenvolvimento da cultura do Milho e da instalação das parcelas experimentais.

Figura 16 – Aspectos do desenvolvimento da cultura do Milho



A – Parcelas experimentais;
B – instante da simulação de chuva no Milho;
C e D – cultura do milho com 34 dias;

A instalação das parcelas experimentais e do simulador de chuva ocorreram no dia anterior à realização da simulação de chuva. Para minimizar a interferência do vento foi utilizada uma ‘tela de sombrite’ (Figura 16 – D) e os testes foram empreendidos em períodos com menor atividade eólica. Os dados do volume de escoamento superficial, as capacidades de armazenamento de água do solo, o volume de abstração inicial, os valores CN e os índices de abstração inicial para o uso da terra Milho são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial, capacidade de armazenamento de água do solo, índices de abstração inicial e valor CN para a cultura do Milho

USOS	Q (mm)	Ia (mm)	Ssi (mm)	CNsi	λ_{si}	Sp-q (mm)	λ_{p-q}	CNp-q	S λ (mm)
MILHO 1A	15,32	18,18	51,19	83	0,36	97,38	0,19	72	70,62
MILHO 1B	39,42	8,76	27,09	90	0,32	31,69	0,28	89	26,95
MILHO 2A	16,82	9,61	49,70	84	0,19	90,75	0,11	74	92,25
MILHO 2B	45,67	3,66	20,84	92	0,18	22,27	0,16	92	22,99
MILHO 3A	20,74	8,46	45,77	85	0,18	75,80	0,11	77	78,43
MILHO 3B	49,92	3,40	16,59	94	0,20	16,76	0,20	94	16,66
MÉDIA	31,31	8,68	35,20	88	0,24	55,77	0,17	83	51,32

Q – escoamento superficial; Ia – abstração inicial; Ssi – capacidade de armazenamento de água do solo do simulador de chuva; λ_{si} – índice de abstração inicial com Ssi; CNsi – valor CN; Sp-q – capacidade de armazenamento de água do solo com Ia=0,2·S; λ_{p-q} – índice de abstração inicial com Sp-q; CNp-q – valor CN com Ia=0,2·S; S λ - capacidade de armazenamento de água do solo com o índice de abstração inicial obtido com o simulador de chuva;

A simulação 1A na cultura do Milho obteve-se uma abstração inicial de 18,18 mm e um escoamento superficial de 15,32 mm. A capacidade de armazenamento de água obtida com o simulador de chuva (diferença entre a precipitação total e o escoamento superficial) foi de 51,19 mm (Ssi=51,19 mm). Correlacionando os dados do volume de abstração inicial com a capacidade de armazenamento de água do simulador de chuva foi obtido um índice de abstração inicial (Ia/S) de $\lambda_{si}=0,36$, superior ao estipulado pelo NRCS ($\lambda=0,2$).

Alcançou-se esse elevado índice de abstração inicial ($\lambda=0,36$) devido ao baixo Ssi (Ssi=51,19) e, como mencionado, ao elevado volume de abstração inicial (Ia=18,18 mm). Conseqüentemente, o devido ao baixo volume de armazenamento de água do solo propiciou um valor CN elevado (CNsi=83). Obtendo-se a capacidade de armazenamento de água do solo com os dados de precipitação, de escoamento superficial e considerando a abstração inicial como 20% da capacidade de armazenamento de água do solo, produziu-se uma capacidade de armazenamento de água maior do que o Ssi, com 97,38 mm (Sp-q=97,38 mm) e, conseqüentemente, um menor índice de abstração inicial, $\lambda_{p-q}=0,19$, próximo ao índice adotado oficialmente pelo NRCS. Com uma maior capacidade de armazenamento de água do solo obteve-se, obviamente, um menor valor CNp-q=72, 11 pontos menores do que o valor CNsi.

Utilizando o índice de abstração inicial do simulador de chuva obtido na simulação Milho 1A ($\lambda_{si}=0,36$) para determinar uma nova capacidade de armazenamento de água, alcançou-se um menor volume de armazenamento devido ao maior índice de abstração inicial, com $S\lambda=70,62$ mm. Observe que quanto maior o índice de abstração inicial obtêm-se uma menor a capacidade de armazenamento de água do solo, e portanto, um maior valor CN.

Por meio da análise textural enquadraram-se o solo da área do Milho na categoria “D” do grupo hidrológico do solo, que normalmente apresenta mais de 40% de argila e menos de 50% de areia e com textura argilosa (USDA-NRCS, 2009). Assim, o grupo hidrológico do solo foi determinado de acordo com análise textural e seguindo as indicações da porcentagem de argila, de areia e de silte do USDA-NRCS (2009), e, em seguida, por meio das tabelas do USDA-NRCS (2002, 2004) a área do experimento com a cultura do Milho foi classificada em: uso do solo – *row crops* (cultura temporárias como Soja e Milho, plantadas em fileiras distantes onde na maior parte tempo a superfície do solo fica exposta ao impacto da chuva durante o período de crescimento da cultura); superfície – *contoured and terraced* (cultivos seguindo as curvas de nível e com terraços); condição hidrológica – *good* (a condição hidrológica é baseada em fatores que afetam o escoamento superficial e a infiltração, como a densidade de cobertura vegetal, quantidade de cobertura durante todo o ano, quantidade de grama ou leguminosas fechadas e a porcentagem de cobertura de palhada; portanto, a condição hidrológica boa é relativa a fatores que induzem a infiltração e reduzem o escoamento superficial).

Considerando o grupo hidrológico do solo ‘D’ e a condição antecedente de umidade III, obtêm-se um valor $CN_{tb}=92$, valor CN maior do que o valor $CN_{si}=83$ para a simulação no Milho 1A, e 20 pontos maior do que o valor $CN_{p-q}=72$ para a mesma simulação. Na simulação posterior, Milho 1B, coletou-se um escoamento superficial maior do que a simulação Milho 1A, 39,42 mm e um volume de abstração inicial de 8,76 mm, volume de abstração inicial menor

do que a simulação 1A, provavelmente, devido ao início da saturação do solo com a chuva anterior (simulação 1A).

Devido ao elevado volume de escoamento superficial, obteve-se um S_{si} menor, possivelmente devido à saturação do solo, o que induz ao escoamento superficial. A simulação 1B foi enquadrada na condição antecedente de umidade III, e, portanto, o valor CN_{si} e CN_{p-q} foram próximos ao valor $CN_{tb}=92$ (condição antecedente de umidade III, grupo hidrológico do solo 'D'). O índice de abstração inicial do simulador de chuva foi menor do que o índice de abstração inicial apresentado na simulação Milho 1A, o que se justifica pela saturação dos componentes da abstração inicial, como a menor interceptação e a menor evaporação devido à saturação do ambiente.

A capacidade de armazenamento de água do solo com o índice de abstração inicial do simulador de chuva (λ_{si}) para a simulação Milho 1B foi a menor capacidade de armazenamento de água encontrada nesta simulação ($S_{\lambda}=26,95$ mm), devido ao menor índice de abstração inicial do simulador de chuva dessa simulação se comparado à simulação Milho 1A, apresentando, conseqüentemente, um maior valor CN. O índice de abstração inicial do simulador de chuva dessa simulação foi superior ao índice oficial do NRCS, devido à baixa capacidade de armazenamento dessa simulação.

A simulação Milho 2A foi enquadrada na condição antecedente de umidade III (AMC III). Na simulação Milho 2A, obteve-se um valor $CN_{si}=84$, valor CN_{si} próximo ao valor $CN_{tb}=92$ (AMC III), e o valor $CN_{p-q}=74$ foi 18 pontos inferior ao CN_{tb} – AMC III para o a cultura do Milho. De modo semelhante à simulação 1A, na simulação 2A o escoamento superficial apresentou um volume de 16,82 mm, pois essa simulação foi a primeira ser realizada no dia, apresentando, conseqüentemente, um menor volume de escoamento superficial e uma maior capacidade de armazenamento de água do solo se comparada à simulação Milho 1B.

O volume de abstração inicial foi de 9,61 mm, volume próximo ao da simulação Milho 1B, e a capacidade de armazenamento de água do solo do simulador de chuva (Ssi) foi igual a 49,70 mm, semelhante à capacidade de armazenamento de água do solo do simulador de chuva da simulação Milho 1A e, conseqüentemente, apresentando um valor $CN_{si}=84$, valor CN este próximo ao valor CN_{si} da simulação 1A.

O índice de abstração inicial da simulação Milho 2A, obtido com a utilização da capacidade de armazenamento de água do solo do simulador de chuva, foi de $\lambda=0,19$, próximo ao estipulado pelo NRCS ($\lambda=0,2$). O valor de Sp-q foi de 90,75 mm, superior ao obtido no $S_{si}=49,70$ mm, obtendo, assim, um menor valor $CN_{p-q}=74$, valor CN inferior ao valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade II ($AMC II - CN_{tb}=81$) e 10 pontos superior ao valor $CN_{tb}=64$ na condição antecedente de umidade I.

A capacidade de armazenamento de água do solo com o índice de abstração inicial do simulador de chuva foi de $S\lambda=92,25$ e, portanto, valor $CN\lambda$ próximo ao valor $CN_{p-q}=74$. Observe que na simulação Milho 2A, o valor CN_{si} foi próximo ao valor CN_{tb} no AMC II ($CN_{tb}=81$), e o valor CN_{p-q} ficou entre o CN_{tb} no AMC I ($CN_{tb}=64$) e o AMC II ($CN_{tb}=81$). Todos os valores CN obtidos na simulação Milho 2A foram inferiores ao valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade III ($CN_{tb}=92$), o que faz sentido se considerar que essa é a primeira simulação realizada no dia.

Para a simulação Milho 2A, o valor CN_{si} foi superior aos outros valores CN encontrados nessa simulação, e próximo ao valor CN selecionado nas tabelas do NRCS na condição antecedente de umidade II ($CN_{tb}=81$). Observe, nos dados da Tabela 5 que as primeiras simulações do dia encontravam uma umidade do solo muito baixa e, conseqüentemente, apresentavam um maior volume de Ia porque o início do escoamento superficial retardava mais do que se comparado à simulação realizada posteriormente. Para isto, observe os dados do volume de abstração inicial e de escoamento superficial captados nas simulações 1A e 1B.

Na simulação 1A temos um volume de abstração inicial de 18,18 mm, e em seguida à simulação 1B esse volume reduz-se para pouco mais 8 mm devido ao início mais rápido do escoamento superficial se comparado com a simulação 1A. Observe que na simulação 1A foi captado um volume de escoamento superficial de apenas 15,32 mm e, posteriormente, na simulação 1B esse valor eleva-se para 39,42 mm, indicando uma saturação do solo devido à primeira simulação realizada na cultura. Essas diferenças nos volumes de escoamento superficial e da abstração inicial captados nas simulações 1A e 1B proporcionam índices de abstração inicial e valores CN distintos para cada análise, comprovando a ideia que os índices de abstração inicial sejam considerados parâmetros climáticos-sazonais (temporais).

A simulação 2B com escoamento superficial de 45,67 mm, superior ao volume de escoamento superficial da simulação 2A, ocorreu devido provavelmente à saturação do solo, o que induziu ao escoamento superficial. Já o volume de abstração inicial foi de 3,66 mm, inferior aos 9,61 mm do evento anterior (simulação 2A), o que reforça a teoria de que a abstração inicial é maior quando o solo (o ambiente) está seco. Na simulação 2B, o Ssi foi de 20,84 mm, inferior ao Ssi=49,70 mm da simulação 2A; o que é lógico devido à redução da capacidade de armazenamento de água do solo após a simulação 2A. O valor de CNsi=92 se deu em função do aumento do volume de escoamento superficial em relação à simulação 2A, valor CNsi idêntico ao valor CNtb na condição antecedente de umidade III (AMC III – CNtb=92), o que indica que a primeira simulação está na condição antecedente de umidade I ou II, e a simulação a seguir encontra-se na condição antecedente de umidade II ou como demonstrado pelo valor CNsi na condição antecedente de umidade III.

O índice de abstração inicial obtido com a capacidade de armazenamento de água do simulador de chuva para a simulação 2B foi de $\lambda_{si}=0,18$, e como apresentado na simulação Milho 2A, próximo aos $\lambda=0,2$ estipulados pelo NRCS. Vale ressaltar que os valores CN contidos nas tabelas do NRCS e em outras fontes foram definidos com a abstração inicial a 20%

da capacidade de armazenamento de água do solo ($\lambda=0,2$). Assim, tem-se que uma maior abstração inicial significa um menor escoamento superficial, e vice-versa, o que pode subestimar o volume de escoamento superficial. Para a simulação Milho 2B, a capacidade de armazenamento de água do solo, considerando a abstração inicial $\lambda=0,2$, foi de $S_{p-q}=22,27$ mm e o valor $CN_{p-q}=92$ foi o mesmo para o CN_{si} da mesma simulação, e também apresenta valor CN_{p-q} semelhante ao CN_{tb} para a cultura Milho, para as condições de manejo e para o grupo hidrológico do solo D.

Com o índice de abstração inicial $\lambda_{si}=0,18$, foi determinada uma nova capacidade de armazenamento de água do solo com a finalidade de comparação. O valor de $S_{\lambda}=22,99$ mm foi muito inferior ao valor S_{λ} da simulação 2A, possivelmente devido à saturação do solo. Observe que para a simulação Milho 2B foram apresentados os mesmos valores CN, ou seja, valor CN_{si} , CN_{p-q} e CN_{λ} igual a 92, mesmo valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade III para a cultura do Milho, mesma condição de manejo e grupo hidrológico do solo. O índice de abstração inicial com a capacidade de armazenamento de água do solo com $I_a=0,2 \cdot S$ foi igual a $\lambda_{s-p}=0,16$ valor inferior aos $\lambda=0,2$ do NRCS.

De forma semelhante àquela apresentada pelas simulações Milho 1A e 1B, nas simulações Milho 2A e 2B observou-se um aumento dos valores CN_{si} e valores CN_{p-q} da simulação Milho 2A para a Milho 2B, devido ao aumento do volume de escoamento superficial da primeira para a segunda simulação, e os índice de abstração inicial apresentaram uma redução da simulação Milho 2A para a simulação Milho 2B no índice de abstração inicial do simulador de chuva. Entretanto, houve um aumento no índice de abstração inicial com a capacidade de armazenamento de água do solo com $\lambda=0,2$ devido à redução da capacidade de armazenamento de água do solo da simulação 2A para a simulação 2B.

Na simulação 3A, obteve-se um escoamento superficial de 20,74 mm, produzindo como resultado um valor $CN_{si}=85$. Aplicando a equação com $I_a=0,2 \cdot S$ para os dados de 'P-Q', a

capacidade de armazenamento foi de $S_{p-q}=75,80$ mm, quase que o dobro da capacidade de armazenamento de água produzida com a utilização do simulador de chuva. Conseqüentemente, temos um menor valor $CN_{p-q}=77$ se comparado ao valor CN_{si} . O valor CN_{si} da simulação Milho 3A foi próximo ao valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade II ($CN_{tb}=81$) e o valor $CN_{p-q}=77$ foi inferior ao valor CN_{tb} na AMC II ($CN_{tb}=81$). A capacidade de armazenamento de água do solo com o índice de abstração inicial do simulador de chuva ($\lambda_{si}=0,18$) foi a maior entre todas as capacidades de armazenamento de água do solo obtidas na simulação 3A ($S_{\lambda}=78,43$ mm), e produzindo conseqüentemente, um menor valor CN entre todos para esta simulação ($CN_{si}=85$; $CN_{p-q}=77$ e $CN_{\lambda}=76$).

O volume de abstração inicial da simulação Milho 3A foi igual a 8,46 mm, semelhante ao volume de abstração inicial da simulação Milho 2A, apresentando índice de abstração inicial do simulador de chuva semelhante ao índice da simulação 2A, índices próximos aos do NRCS. Entretanto, o índice de abstração inicial com a capacidade de armazenamento de água que considera a $I_a=0,2 \cdot S$ foi de $\lambda=0,11$, mesmo índice da simulação 2A e inferior ao índice oficial ($\lambda=0,2$).

Prosseguindo, a simulação 3B apresentou um maior escoamento superficial (49,92 mm), mais do que o dobro do volume de escoamento superficial da simulação 3A e uma abstração inicial quase 50% menor do que a da simulação 3A na cultura do Milho ($I_a=3,40$ mm). A capacidade de armazenamento de água foi menor do que se comparada à simulação 3A, o que parece razoável devido à saturação do solo e ao conseqüente aumento do volume de escoamento superficial e redução do volume de abstração inicial. Os valores CN, conseqüentemente, foram maiores do que se comparados ao da simulação Milho 3A, o que reforça a ideia de que deve-se considerar condição antecedente de umidade (AMC), ou o que atualmente o NRCS considera, a condição antecedente de escoamento superficial (ARC). A simulação Milho 3B apresentou

valores $CN=94$ para todos os valores CN 's dessa simulação, valores CN próximos ao valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade III ($CN_{tb}=92 - AMC$ III).

Nas simulações realizadas, há uma nítida correlação entre o escoamento superficial e os valores CN obtidos com os dados das simulações, pois, à medida que houve aumento do volume de escoamento superficial elevam-se os valores CN . Ainda nesse sentido, observou-se que à medida que se tem a redução do volume de escoamento superficial há um aumento do volume de abstração inicial. Constatou-se que quanto menor a capacidade de armazenamento de água do solo, menores foram os volumes de abstração inicial, e quanto maior o volume de abstração inicial maiores foram as capacidades de armazenamento de água do solo, o que faz sentido se considerar a abstração inicial como parte da capacidade de armazenamento de água do solo.

Observa-se um menor valor CN_{p-q} se comparado aos valores CN_{si} e um menor índice de abstração inicial com a capacidade de armazenamento de água do solo que considera a I_a como 20% da capacidade de armazenamento de água do solo. Os índices de abstração inicial do simulador de chuva foram maiores do que os índices de abstração inicial λ_{p-q} , devido à maior capacidade de armazenamento de água pelo solo com $I_a=0,2 \cdot S$. Os volumes de abstração inicial variaram de 3,40 mm a 18,18 mm para o uso da terra Milho, com uma média de 8,68 mm.

Comparando os valores CN_{si} das simulações 1A, 2A e 3A com os valores CN_{si} das simulações 1B, 2B e 3B, verifica-se que há um aumento dos valores CN_{si} , devido ao aumento do escoamento superficial e, conseqüentemente, uma redução da capacidade de armazenamento de água pelo solo. Os valores CN_{si} das simulações 'B' foram próximos aos valores CN_{tb} na condição antecedente de umidade III, e os valores CN_{si} das simulações 'A' foram próximos aos valores CN_{tb} na condição antecedente de umidade II. Já os valores CN_{p-q} (obtidos por meio da fórmula que considera a abstração inicial como 20% da capacidade de armazenamento de água do solo e mediante dados de precipitação e de escoamento superficial) das simulações 'A' foram inferiores aos valores CN_{tb} na condição antecedente de umidade II, e os valores

CNp-q 'B' foram próximos aos valores CNtb na condição antecedente de umidade III, igualmente aos valores CNsi nas simulações 'B'.

No geral, houve uma redução dos valores CNsi para os valores CNp-q, pois, os valores CNp-q foram obtidos a partir da equação que considera a abstração inicial como 20% da capacidade de armazenamento de água do solo. Observe na Tabela 5 que os valores CN que podem ser obtidos com a capacidade de armazenamento de água do solo que considera os índices de abstração inicial do simulador de chuva (valores CN que podem ser determinados pelo $S\lambda$) são menores do que os valores CNp-q e valores CNsi nas simulações 'A', com única exceção para a simulação Milho 1A. Já nas simulações 'B', houve uma relativa igualdade entre os valores CN obtidos por meio das variadas formas e índices de abstração inicial, supondo ser necessário considerar a condição antecedente de umidade na escolha dos valores CN.

Os volumes de abstração inicial das simulações 'A' foram superiores aos volumes de abstração inicial das simulações 'B', apresentando quase que o dobro do volume de abstração inicial. O índice de abstração inicial do simulador de chuva nas simulações 1A e 2A foram maiores do que os índices das simulações 1B e 2B, com exceção da comparação entre as simulações 3A e 3B, onde a simulação 3B apresentou maior índice de abstração inicial do simulador de chuva, entretanto, ambas as simulações 3A e 3B com índices de abstração inicial do simulador de chuva ficaram próximos da média da cultura do Milho e, também, do índice adotado oficialmente. Entretanto, o índice de abstração inicial produzido com a capacidade de armazenamento de água do solo, que considera a abstração inicial como 20% da capacidade de armazenamento de água do solo, foi, no geral, menor do que os índices de abstração inicial com a capacidade de armazenamento de água do solo do simulador de chuva, e as simulações 'A' apresentaram menores índices do que as simulações 'B'.

A média do escoamento superficial entre todas as simulações foi de 31,31 mm e a média da abstração inicial foi de 8,68 mm. A capacidade de armazenamento de água do solo do

simulador de chuva apresentou uma média de 35,20 mm, produzindo, conseqüentemente, um índice de abstração inicial do simulador de chuva de $\lambda_{si}=0,24$, próximo ao índice de abstração inicial adotado oficialmente pelo NRCS ($\lambda=0,2$). O valor CN_{si} médio foi igual a 88, próximo ao valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade III (AMC III) igual a CN_{tb}=92.

O valor CN_{p-q} médio foi igual a 83,9 pontos inferiores ao valor CN_{tb}=92 (AMC III) e próximo ao valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade II, CN_{tb}=81. A capacidade de armazenamento de água do solo com o índice de abstração inicial do simulador de chuva (λ_{si}) foi próximo à capacidade de armazenamento de água Sp-q, produzindo, conseqüentemente, produzindo um valor CN médio próximo ao valor CN_{p-q}. Obtendo-se a média dos dois índices de abstração inicial (λ_{si} e λ_{p-q}) verificados na pesquisa para a cultura do Milho e para todas as simulações encontra-se o índice de $\lambda=0,21$, e a média para os dois valores CN (CN_{si} e CN_{p-q}) encontra-se o valor CN=85; valor CN que se encontra entre o valor CN_{tb} – AMC II e valor CN_{tb} – AMC III.

3.2 Uso da terra – Braquiária

A seguir são apresentadas as simulações realizadas no uso da terra Braquiária, as mesmas são analisadas separadamente e ao final são analisadas em conjunto, apresentando-se as médias para o uso da terra Braquiária nos dois períodos estudados. Na Figura 17, observam-se aspectos do uso da terra Braquiária e da instalação das calhas coletoras. A instalação das calhas e do simulador de chuva deram-se no dia anterior ao da realização do evento. Para minimizar a interferência do vento, foi utilizada uma ‘tela de sombrite’ e os testes foram empreendidos em períodos com menor atividade eólica.

Figura 17 – Parcelas experimentais e calhas coletoras instaladas no uso Braquiária



A – Instalação das parcelas experimentais e das calhas coletoras;
B – Aspectos do uso do solo Braquiária;

3.2.1 Simulação Braquiária – outono-inverno

Os dados do escoamento superficial, da abstração inicial, da capacidade de armazenamento de água do solo e do valor CN são apresentados na Tabela 6 para o uso da terra Braquiária – período outono-inverno.

Tabela 6 – Índice de abstração inicial, capacidade de armazenamento de água do solo, e valor CN para o uso Braquiária – outono-inverno

CALHAS	Q (mm)	Ia (mm)	Ssi (mm)	CNsi	λ_{si}	Sp-q (mm)	λ_{p-q}	CNp-q	S λ (mm)
1A	0,66	3,70	32,60	89	0,11	120,09	0,03	68	191,30
1B	0,97	3,70	32,29	89	0,11	111,77	0,03	69	173,11
1C	0,81	3,70	32,44	89	0,11	115,69	0,03	69	181,61
1D	X	X	X	X	X	X	X	X	X
MÉDIA	0,81	3,70	32,44	89	0,11	115,81	0,03	69	181,90

Q – escoamento superficial (média); Ia – abstração inicial; Ssi – capacidade de armazenamento de água do solo; λ_{si} – índice de Ia/Ssi; CNsi – valor CN; Sp-q – capacidade de armazenamento de água do solo com Ia=0,2; λ_{p-q} – índice de Ia/Sp-q; CNp-q – valor CN; S λ - capacidade de armazenamento de água do solo com relação ao λ_{si} ;

O volume de escoamento superficial produzido pelas calhas no uso da terra Braquiária variaram de 0,66 mm a 0,97 mm, menos de 3% do total precipitado nesta simulação em todas as 3 calhas analisadas, indicando a boa capacidade de armazenamento de água desta simulação.

O volume de abstração inicial na simulação no uso da terra Braquiária no período do outono-inverno foi de 3,70 mm. A capacidade de armazenamento de água do solo do simulador de chuva variou de 32,29 mm a 32,60 mm, o que calculado com o volume de abstração inicial produziu um índice de abstração inicial de $\lambda_{si}=0,11$ para todas as calhas.

O valor CN_{si} foi de 89 para todas as calhas devido à pequena variação na capacidade de armazenamento de água do solo do simulador de chuva. Com base na análise textural e de acordo com o USDA-NRCS (2009), o uso da terra Braquiária foi enquadrado no grupo hidrológico do solo 'D', com mais de 40% de argila e menos de 50% de areia. Assim, seguindo o USDA-NRCS (2004), o uso da terra Braquiária foi classificado em: uso do solo – *Pasture, grassland, or range-continuous forage for grazing*; a condição hidrológica *good* (quando se tem cobertura vegetal em mais de 75% da área). Considerando esses aspectos para o uso da terra Braquiária e o grupo hidrológico do solo 'D', o valor CN_{tb} foi de 80 para a condição antecedente de umidade II.

A simulação no uso da terra Braquiária foi enquadrada na condição antecedente de umidade III (AMC III), o que eleva o valor CN_{tb} de 80 para 91 ($CN_{tb}=91$ – AMC III), valor CN_{tb} apenas 2 pontos acima do valor $CN_{si}=89$ para a simulação no uso do solo Braquiária. A capacidade de armazenamento de água do solo que considera a abstração inicial como 20% da capacidade de armazenamento de água do solo foi superior à capacidade de armazenamento de água do solo do simulador de chuva, oscilando de 111,77 mm a 120,09 mm, o que produziu um valor CN menor do que o valor CN_{si} , valor CN_{p-q} mais próximo ao valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade I ($CN_{tb}=63$ – AMC I). Observe que o índice de abstração inicial $\lambda=0,2$ produziu uma maior capacidade de armazenamento de água do solo e, conseqüentemente, um menor valor CN, o que na prática produz um menor escoamento superficial, o que de certa forma condiz com o que apresentou essa simulação devido ao baixo escoamento superficial (0,66 mm a 0,97 mm).

Utilizando o índice de abstração inicial do simulador de chuva (λ_{si}), a capacidade de armazenamento de água foi superior a todas as outras capacidades de armazenamento de água obtidas nessa simulação, variando de 173,11 mm a 191,30 mm, produzindo os menores valores CN para essa simulação (variou de 57 a 59). Como observado, a capacidade de armazenamento de água do solo obtida pela equação que considera a abstração inicial como 20% da capacidade de armazenamento de água do solo foi 3 a 4 vezes maior do que a capacidade de armazenamento de água do simulador de chuva (S_{si}), produzindo conseqüentemente, um menor índice de abstração inicial $\lambda=0,03$, índice muito inferior ao estipulado pelo NRCS.

A média do valor CN_{p-q} foi 11 pontos menor do que o CN_{tb}=80 na condição antecedente de umidade II, pontos estes que subestimariam o escoamento superficial com a utilização da equação que determina a capacidade de armazenamento de água do solo com a $I_a=0,2 \cdot S$. Entretanto, a média de CN_{si} foi de 89, superior ao CN_{tb}=80 – AMC II, entretanto próximo ao valor CN_{tb} – AMC III (CN_{tb}=91). O volume de abstração inicial baixo para esta simulação na Braquiária foi atribuído ao pré-molhamento realizado aproximadamente 24 horas antes da simulação. No entanto, observa-se o baixo volume de escoamento superficial no uso da terra Braquiária, comprovando a capacidade da Braquiária em reter a água da chuva e de reduzir o escoamento superficial. Sendo assim, seria razoável o uso do solo Braquiária apresentar baixos valores CN, mesmo com o pré-molhamento realizado anteriormente. No entanto, o baixo volume de precipitação produziu um valor CN_{si} médio de 89 e uma média do valor CN_{p-q}=69. Com o pré-molhamento, esses valores CN obtidos na pesquisa enquadram-se na condição antecedente de umidade III.

A elevada capacidade de armazenamento do solo alcançada com o índice de abstração inicial do simulador de chuva (média de $S\lambda=181,90$) foi atribuída ao baixo escoamento superficial e, também, ao baixo índice de abstração inicial da simulação no uso do solo Braquiária (Tabela 6). A média do índice de abstração inicial do simulador de chuva obtido

para a cultura Braquiária de $\lambda=0,11$ foi menor do que $\lambda=0,2$ estipulado pelo NRCS e maior do que o sugerido por Hawkins e Khojeini (2000) que é de 0,05.

A diferença de 20 pontos na média entre CN_{si} e o CN_{p-q} na Braquiária justifica-se pela diferença entre as capacidades de armazenamento de água do solo e a diferença metodológica para obter ambas capacidades de armazenamento de água do solo. Aqui evidencia-se a interferência do baixo volume de precipitação simulada na produção do elevado valor CN_{si}=89, corroborando as afirmativas de Hawkins et al. (2010) sobre a interferência do volume de chuva na produção dos valores CN. Para a simulação no uso da terra Braquiária não houve alterações nos valores CN_{si}, que permaneceram em todas as calhas em 89 (CN_{si}=89), entretanto, houve uma pequena variação no escoamento superficial entre as calhas, de 0,66 mm a 0,97 mm, diferença de 0,31 mm entre o maior volume e o menor volume. Neste sentido, houve uma pequena diferença entre os valores CN_{p-q} para a simulação na Braquiária.

3.2.2 Primeira simulação Braquiária – primavera-verão

A seguir, na Tabela 7, apresentam-se os dados da primeira simulação da Braquiária do período da primavera-verão.

Tabela 7 – Índice de Ia, S e CN para o uso Braquiária – primavera-verão

CALHAS	Q (mm)	Ia (mm)	Ssi (mm)	CN _{si}	λ si	Sp-q (mm)	λ p-q	CN _{p-q}	S λ (mm)
2A	0,20	4,25	66,31	79	0,06	293,74	0,01	46	834,76
2B	0,95	3,88	65,56	79	0,06	252,69	0,02	50	684,84
2C	0,80	2,59	65,71	79	0,04	258,62	0,01	50	971,35
2D	0,22	4,43	66,29	79	0,07	291,94	0,02	47	795,03
MÉDIA	0,54	3,79	65,97	79	0,06	274,25	0,01	48	821,50

Q – escoamento superficial (média); Ia – abstração inicial; Ssi – capacidade de armazenamento de água do solo; λ si – índice de Ia/Ssi; CN_{si} – valor CN; Sp-q – capacidade de armazenamento de água do solo com Ia=0,2; λ p-q – índice de Ia/Sp-q; CN_{p-q} – valor CN; S λ - capacidade de armazenamento de água do solo com relação ao λ si;

Na primeira simulação realizada no uso da terra Braquiária para o período da primavera-verão, o escoamento superficial variou de 0,20 mm a 0,95 mm, representando no geral, menos de 2% da precipitação incidente. A abstração inicial variou de 2,59 mm a 4,43 mm com uma média de 3,79 mm. A capacidade de armazenamento de água do solo do simulador de chuva oscilou de 65,56 mm a 66,31 mm devido ao baixo escoamento superficial produzido. A maior capacidade de armazenamento de água do solo da simulação Braquiária primavera-verão em relação à simulação Braquiária do outono-inverno deve-se ao maior volume de precipitação dessa simulação em relação à simulação do período do outono-inverno (66,51 mm - primavera-verão, contra 33,26 mm – outono-inverno). Assim, nesse período, obteve-se um menor valor $CN_{si}=79$ para todas as simulações, e considerando que essa simulação foi enquadrada na condição antecedente de umidade II, obtendo-se um valor $CN_{tb}=80$, valor CN este próximo ao valor CN_{si} para a primeira simulação do período da primavera-verão ($CN_{si}=79$).

O índice de abstração inicial do simulador de chuva apresentou pequena variação ($\lambda_{si}=0,04$ a $0,07$), com uma média de $0,06$, índice este menor do que o índice de $\lambda=0,2$ do NRCS. O menor índice de abstração inicial do simulador de chuva, no período da primavera-verão se comparado com o índice do período do outono-inverno, atribui-se à maior capacidade de armazenamento de água do solo do período da primavera-verão. A média da capacidade de armazenamento de água do solo que considera a $I_a=0,2 \cdot S$ foi quase 5 vezes superior à capacidade de armazenamento de água do simulador de chuva, produzindo, portanto, um valor CN_{p-q} médio de 48, valor CN_{p-q} inferior ao valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade I ($CN_{tb}=63$). O valor CN_{p-q} obtido nessa simulação indica a elevada capacidade do uso da terra em induzir a infiltração e retardar ou mesmo impedir escoamento superficial.

O índice de abstração inicial com o S_{p-q} produziu uma média de λ_{p-q} igual a $0,01$, vinte vezes inferior a $0,2$, e a capacidade de armazenamento de água do solo com $\lambda_{p-q}=0,01$ apresentou uma média de $S_{\lambda}=821,50$ mm, volume este superior a todas as capacidades de

armazenamento de água do solo produzidas nessa simulação, apresentando, conseqüentemente, um baixo valor CN (o valor CN seria igual a 24). Conclui-se que um menor índice de abstração inicial produz uma elevada capacidade de armazenamento de água do solo e vice-versa.

O valor CN_{si} médio reduziu 10 pontos em relação à simulação do outono-inverno, devido ao aumento do volume de precipitação incidente e à redução do escoamento superficial. O escoamento superficial médio da simulação outono-inverno foi igual a 0,81 mm e no período da primavera-verão reduziu para 0,54 mm, entretanto, em ambas as simulações apresentaram baixo volume de escoamento superficial. O valor de CN_{si}=79 situa-se entre o CN_{tb}=63 na condição de umidade I (AMC I) e o CN_{tb}=91 na condição de umidade III (AMC III).

O valor CN_{si} foi de 79 para todas as calhas e o valor CN_{p-q} médio foi 31 pontos menor que CN_{si} (CN_{p-q}=48), devido à maior capacidade de armazenamento de água do solo, o que na realidade pode não ser, o que levaria a um menor escoamento superficial, podendo subestimar o escoamento superficial. Nenhum índice de abstração inicial produzido pelas calhas aproximou-se do índice original do NRCS ($\lambda=0,2$), com média de $\lambda_{si}=0,06$ e o índice com Sp-q apresentou média de $\lambda_{p-q}=0,01$ entre as calhas. Observa-se que os valores CN_{si} foram maiores do que os valores CN_{p-q} devido à menor capacidade de armazenamento de água obtida com o simulador de chuva em comparação com a capacidade de armazenamento que considera a $I_a=0,2 \cdot S$.

3.2.3 Segunda simulação Braquiária – primavera-verão

Na Tabela 8 observam-se os volumes de escoamento superficial, o volume de abstração inicial, a capacidade de armazenamento de água do solo e os respectivos valores CN para as 4 calhas para a segunda simulação no uso da terra Braquiária no período da primavera-verão.

Tabela 8 – Índice de Ia, S e CN para o uso da terra Braquiária – primavera-verão

CALHAS	Q (mm)	Ia (mm)	Ssi (mm)	CNsi	λ_{si}	Sp-q (mm)	λ_{p-q}	CNp-q	S λ (mm)
3A	3,04	4,29	63,48	80	0,07	201,19	0,02	56	428,20
3B	3,52	6,28	62,99	80	0,10	193,11	0,03	57	314,98
3C	4,20	3,14	62,32	80	0,05	183,11	0,02	58	432,21
3D	3,00	7,94	63,51	80	0,13	201,81	0,04	56	285,48
MÉDIA	3,44	5,41	63,08	80	0,09	194,81	0,03	57	365,22

Q – escoamento superficial; Ia – abstração inicial; Ssi – capacidade de armazenamento de água do solo; λ_{si} – índice de Ia/Ssi; CNsi – valor CN; Sp-q – capacidade de armazenamento de água do solo com Ia=0,2; λ_{p-q} – índice de Ia/Sp-q; CNp-q – valor CN; S λ - capacidade de armazenamento de água do solo com relação ao λ_{si} ;

Observa-se um aumento do volume de abstração inicial nessa simulação em relação à primeira simulação no período, variando de 3,0 mm a 4,20 mm com uma média de 3,44 mm contra uma média da primeira simulação de 0,54 mm. Este aumento do volume de escoamento superficial atribui-se à saturação do solo devido à primeira simulação no período neste uso do solo. O volume de abstração inicial oscilou de 3,14 mm a 7,94 mm com média de 5,41 mm, média superior ao volume de abstração inicial da primeira simulação no uso da terra Braquiária.

Devido ao ligeiro aumento do volume de escoamento superficial a capacidade de armazenamento de água do solo do simulador de chuva apresentou uma pequena redução, oscilando de 62,32 mm a 63,51 mm, com média de 63,08 mm, que correlacionada com o volume de abstração inicial produz um índice de abstração inicial médio de $\lambda_{si}=0,09$, índice pouco superior ao índice da primeira simulação e inferior ao índice oficial.

Essa simulação foi enquadrada na condição antecedente de umidade III (AMC III) devido à realização da primeira simulação, o que eleva o CN_{tb} para 91, 11 pontos superior ao valor CN_{si} dessa simulação. O valor CN_{si} (CN_{si}=80), menor do que o valor CN_{tb} – AMC III, justifica-se pela elevada capacidade desta vegetação em reter o escoamento superficial e induzir a infiltração.

Como apresentado nas outras simulações, a capacidade de armazenamento de água do solo com $\lambda=0,2$ foi superior a Ssi, em média 3 vezes maior do que Ssi, o que logicamente

reduziu o valor CN_{si} médio de 80 para CN_{p-q} médio para 57, valor CN_{p-q} próximo ao valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade I (AMC I). Nessa simulação, o índice de abstração inicial reduziu-se de $\lambda_{si}=0,09$ para $\lambda_{p-q}=0,03$, ambos inferiores aos $\lambda=0,2$.

Utilizando-se o índice de abstração inicial do simulador de chuva (λ_{si}) encontrou-se uma capacidade de armazenamento de água que variou de 285,48 mm a 432,21 mm, com média de 365,22 mm, apresentando, portanto, apresentando menor valor CN se comparado aos outros valores CN dessa simulação, valor CN médio 22 inferior ao valor CN obtido com $S\lambda$, o que foi encontrado devido ao baixo índice de abstração inicial do simulador de chuva (média $\lambda_{si}=0,09$).

3.2.4 Terceira simulação Braquiária primavera-verão

A Tabela 9 traz os dados da terceira simulação do período da primavera-verão (período vegetativo), e considerando a precipitação antecedente aos 5 dias da simulação da chuva enquadra-se o experimento na condição antecedente de umidade III, quando a precipitação total aos 5 dias anteriores ao evento pluviométrico for maior do que 54 mm (113,86 mm acumulados nos 5 dias anteriores ao evento).

Tabela 9 – Índice de Ia, S e CN para o uso Braquiária – primavera-verão

CALHAS	Q (mm)	Ia (mm)	Ssi (mm)	CN _{si}	λ_{si}	Sp-q (mm)	λ_{p-q}	CN _{p-q}	S λ (mm)
4A	0,68	8,22	65,83	79	0,12	263,87	0,03	49	398,10
4B	5,00	7,11	61,51	81	0,12	172,64	0,04	60	248,18
4C	2,34	3,23	64,17	80	0,05	214,54	0,02	54	571,03
4D	2,00	4,97	64,51	80	0,08	222,08	0,02	53	457,53
MÉDIA	2,51	5,88	64,01	80	0,09	218,28	0,03	54	418,71

Q – escoamento superficial (média); Ia – abstração inicial; Ssi – capacidade de armazenamento de água do solo; λ_{si} – índice de Ia/Ssi; CN_{si} – valor CN; Sp-q – capacidade de armazenamento de água do solo com Ia=0,2; λ_{p-q} – índice de Ia/Sp-q; CN_{p-q} – valor CN; S λ - capacidade de armazenamento de água do solo com relação ao λ_{si} ;

Para a terceira simulação do período da primavera-verão o volume de escoamento superficial apresentou uma variação considerável se comparada às outras simulações no uso da terra pastagem, variando de 0,68 mm a 5 mm, com média 2,51 mm, média inferior somente à segunda simulação no uso da terra pastagem, no entanto, com a maior variação entre todas as simulações no uso da terra pastagem.

O volume de abstração inicial também sofreu grande variação, com o valor mínimo de 3,23 mm e o valor máximo de 8,22 mm, e uma média aritmética de 5,88 mm, sendo a maior média entre todas as simulações no uso da terra pastagem. Observa-se que para as três simulações no período da primavera-verão no uso da terra pastagem, foram obtidas capacidades de armazenamento de água próximas, com pequenas variações, de 61,51 mm a 66,31, o que produziu apenas dois pontos de diferença entre o valor CN_{si} , ou seja, $CN_{si}=79$ (primeira simulação primavera-verão) e valor $CN_{si}=81$ (terceira simulação no período da primavera-verão).

Da mesma forma que se comparado aos três períodos da primavera-verão, as 4 calhas da terceira simulação também apresentaram dois pontos de diferença entre os valores CN_{si} (menor 79 e maior 81), com média de 80, valor CN_{si} idêntico ao valor $CN_{tb}=80$ na condição antecedente de umidade II para o uso da terra pastagem, no entanto, 11 pontos inferiores ao valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade III, condição na qual foi enquadrada a terceira simulação no uso da terra pastagem ($CN_{tb}=91$ – AMC III). No entanto, o CN_{tb} na AMC III foi maior do que os valores CN_{si} e CN_{p-q} . Isso indica a boa condição de infiltração que apresenta pastagem com Braquiária e em boa condição de manejo e condição hidrológica.

O índice de abstração inicial com a capacidade de armazenamento de água do solo do simulador de chuva para a terceira simulação revelou uma variação de $\lambda_{si}=0,05$ (menor índice) a $\lambda_{si}=0,12$ (maior índice), com média de $\lambda_{si}=0,09$, índice idêntico ao da segunda simulação do período da primavera-verão, e esse índice foi próximo aos outros índices deste mesmo período

para o mesmo uso da terra, entretanto, inferior ao índice obtido na cultura do Milho (média de $\lambda_{si}=0,24$).

Da mesma forma que nas outras simulações no uso da terra Braquiária, a capacidade de armazenamento de água que considera a $I_a=0,2 \cdot S$ foi superior à capacidade de armazenamento de água do simulador de chuva, variando de 172,64 mm a 263,87 mm, e conseqüentemente, apresentando menor valor CN_{p-q} (de 49 a 60) se comparado aos valores CN_{si}. A média do valor CN_{p-q} para a terceira simulação no uso da terra pastagem foi de 54, valor CN nove pontos inferior ao CN_{tb} na condição antecedente de umidade I para a qual foi classificado este uso da terra (CN_{tb}=63 – AMC I), o que de certa forma faz sentido se considerar que a Braquiária na qual foi realizada o experimento possui boas condições de infiltração e boa capacidade de retardar a formação do escoamento superficial, com boas práticas de manejo como pode ser observado na Figura 17.

Da mesma forma que nas simulações realizadas nesse mesmo uso da terra pastagem, o índice de abstração inicial com o Sp-q foi inferior ao índice λ_{si} , com média de $\lambda_{p-q}=0,03$, índice este muito inferior ao índice oficial do NRCS. Utilizando-se o índice de abstração inicial do simulador de chuva (λ_{si}) para determinar uma nova capacidade de armazenamento de água, entende-se que houve um aumento significativo, dobrando a média do volume de armazenamento em relação à Sp-q ($S\lambda=418,71$ mm), o qual produziria um baixo valor CN se considerados os índices de abstração inicial do simulador de chuva (média de $\lambda_{si}=0,09$).

Observe na Tabela 9 o aumento na capacidade de armazenamento do simulador de chuva (S_{si}) para a capacidade de armazenamento de água obtido com o índice de abstração inicial do simulador de chuva (S λ), o que teoricamente reduziria o valor CN produzido com ambas as capacidade de armazenamento de água do solo. Ou seja, a alteração no índice de abstração inicial altera o valor CN o que altera a infiltração e o escoamento superficial. O índice de abstração inicial do simulador no uso da terra pastagem variou de 0,05 a 0,13.

3.3 Uso da terra – Café

Na Figura 18 visualizam-se as características do uso da terra Café. As plantas de Café possuem uma altura de aproximadamente 2,4 metros, o espaçamento entre linhas de 3 metros e distância entre as plantas de 0,70 m. As simulações foram empreendidas seguindo as linhas de plantio do Café, conforme visualiza-se na fotografia da direita da Figura 18.

Figura 18 – Esquerda - Imagem apresentando aspectos do uso da terra Café; Direita – Fotografia mostrando instantes do processo de simulação



Na cultura permanente do Café foram realizadas duas simulações em cada período, duas simulações de 30 minutos no período do outono-inverno e duas simulações de 60 minutos no período da primavera verão.

3.3.1 Primeira simulação – período do outono-inverno

A Tabela 10 contém os dados do volume de escoamento superficial, o volume da abstração inicial, do valor CN e os índices de abstração inicial para o uso da terra Café – período outono-inverno.

Tabela 10 – Índice de Ia, S e CN para o uso Café – outono-inverno

CALHAS	Q (mm)	Ia (mm)	Ssi (mm)	CNsi	λ_{si}	Sp-q (mm)	λ_{p-q}	CNp-q	S λ (mm)
1A	1,58	4,43	31,68	89	0,14	99,60	0,04	72	129,71
1B	0,18	4,43	33,08	88	0,13	141,01	0,03	64	202,99
1C	1,46	4,43	31,79	89	0,14	101,55	0,04	71	133,01
1D	0,63	4,43	32,63	89	0,14	121,09	0,04	68	167,01
MÉDIA	0,96	4,43	32,30	89	0,14	115,81	0,04	69	158,18

Q – escoamento superficial; Ia – abstração inicial; Ssi – capacidade de armazenamento de água do solo; λ_{si} – índice de Ia/Ssi; CNsi – valor CN; Sp-q – capacidade de armazenamento de água do solo com Ia=0,2; λ_{p-q} – índice de Ia/Sp-q; CNp-q – valor CN; S λ - capacidade de armazenamento de água do solo com relação ao λ_{si} ;

A primeira simulação de chuva na cultura perene do Café apresentou o menor volume de escoamento superficial entre todas as calhas de todas as simulações analisadas até o instante, 0,18 mm na calha 1B para a primeira simulação Café calha 1B, e o maior volume de escoamento superficial foi de 1,58 mm. O menor volume de escoamento superficial foi atribuído à cobertura vegetal proporcionada pela cultura, onde a copa das plantas recobria toda a parcela, no entanto, a dimensão das plantas que muitas vezes recobria mais de uma parcela e direcionava o fluxo de água através do escoamento pelos galhos até a outra parcela, por esse motivo observou-se essa grande diferença no volume de escoamento superficial. O volume de abstração inicial foi 4,43mm e a capacidade de armazenamento de água do solo apresentou pequena variação, de 31,68 mm a 33,08 mm. O índice de abstração inicial do simulador de chuva apresentou pequena variação, de 0,13 a 0,14, com média de 0,14 mm, próximo aos 0,2, mas, inferior $\lambda=0,2$.

A área da cultura do Café foi classificada como pertencente ao grupo hidrológico do solo (HSG) 'C', com 20% a 40% de argila e com mais de 50% a 90% de areia. A cultura perene do Café foi classificada como: uso do solo: *Woods-grass combination (orchard or tree farm)* – combinação de 50% de área com madeira e 50% da área com pastagem, sendo pequenas áreas de uso agrícola em fazendas e a qualidade da área pode ser classificada em boa, regular e pobre. As áreas pobres são pastoreio intensivo e regularmente queimada com pequenas árvores e os arbustos são retirados. As áreas regulares sofrem pastoreio, mas não sofrem queimadas, e as

áreas boas não sofrem pastoreio e possuem superfície recoberta por arbusto e serapilheira; a condição hidrológica – *good*; considerando estes aspectos o valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade II foi 72.

O valor CN_{si} apresentado para todas as calhas foi de 89, 17 pontos a mais do que o valor CN_{tb} – AMC II (CN_{tb}=72). Entretanto, considerando que a simulação se enquadra na condição antecedente de umidade III (devido ao pré molhamento realizado 24 horas antes), o valor CN_{tb} eleva-se de 72 para 86, distando apenas 3 pontos da média do valor CN_{si} dessa simulação. O armazenamento de água do solo com $\lambda=0,2$ variou de 99,60 mm a 141,01, com média de 115,81 mm, os valores CN_{p-q} variaram de 64 a 72 com média de 69, média inferior ao valor CN_{tb} – AMC II.

Neste sentido, os valores CN_{si} foram próximos aos valores CN_{tb} na condição antecedente de umidade III e os valores CN_{p-q} foram próximos aos valores CN_{tb} na condição antecedente de umidade II. Como nas outras simulações realizadas na pesquisa, a nova capacidade de armazenamento de água do solo com o índice de abstração inicial do simulador de chuva foi maior do que S_{si} e S_{p-q}, oscilando para essa simulação de 129,71 mm a 202,99 mm, o que conseqüentemente, reduz os valores CN. O índice de abstração inicial com S_{p-q} apresentou média de 0,04, mais de 3 vezes inferior ao λ_{si} devido ao maior armazenamento de água de S_{p-q}. O índice de abstração inicial obtido com S_{si} foi mais próximo ao índice de I_a do NRCS, entretanto, o índice de I_a com S_{p-q} foi inferior.

3.3.2 Segunda simulação – período do outono-inverno

A segunda simulação da cultura do Café foi realizada 30 minutos após o término da primeira simulação. Na Tabela 11 são apresentados os dados do volume de escoamento superficial, o volume de abstração inicial, o volume de armazenamento de água pelo solo e os

respectivos valores CN. Também podem ser verificados os índices de abstração inicial obtidos a partir do volume de abstração inicial correlacionados às capacidades de armazenamento de água pelo solo.

Tabela 11 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial do café – período do outono-inverno

CALHAS	Q (mm)	Ia (mm)	Ssi (mm)	CNsi	λ_{si}	Sp-q (mm)	λ_{p-q}	CNp-q	Sλ (mm)
2A	2,45	4,25	30,81	89	0,14	86,96	0,05	74	111,91
2B	1,33	4,25	31,93	89	0,13	104,03	0,04	71	141,60
2C	0,94	4,25	32,32	89	0,13	112,47	0,04	69	156,91
2D	0,75	4,25	32,50	89	0,13	117,36	0,04	68	165,95
MÉDIA	1,37	4,25	31,89	89	0,13	105,20	0,04	71	144,09

Q – escoamento superficial; **Ia** – abstração inicial; **Ssi** – capacidade de armazenamento de água do solo; **λ_{si}** – índice de Ia/Ssi; **CNsi** – valor CN; **Sp-q** – capacidade de armazenamento de água do solo com Ia=0,2; **λ_{p-q}** – índice de Ia/Sp-q; **CNp-q** – valor CN; **S λ** – capacidade de armazenamento de água do solo com relação ao **λ_{si}** ;

Semelhante à primeira simulação realizada na cultura Café, a segunda simulação apresentou consideráveis diferenças entre o menor volume de escoamento superficial e o maior volume de escoamento superficial, variando de 0,75 mm a 2,45 mm, podendo ser justificado pelo escoamento da água pelas galhas das plantas que pelo seu porte direciona o fluxo de água que foi direcionado de uma calha para outras, semelhante ao que ocorre em uma floresta, e a média do volume de escoamento superficial foi de 1,37 mm.

Observa-se um maior escoamento superficial se comparado com a primeira simulação provavelmente devido ao início da saturação do solo. Devido ao fato de essa simulação ser realizada em 30 minutos, verificou-se baixa capacidade de armazenamento de água do solo, e consequentemente, elevado valor CNsi se comparado, por exemplo, aos índices apresentados pelo uso da terra Braquiária em algumas simulações, com valores CNsi=79 e CNsi=80, ou seja, uma maior capacidade de armazenamento do uso da terra Braquiária se comparado ao uso da terra Café nas simulações do outono-inverno.

O volume de abstração inicial foi pouco menor do que foi registrada para a primeira simulação na cultura do Café, com 4,25 mm, e o armazenamento de água pelo solo oscilou de 30,81 mm a 32,50 mm, com média de 31,89, armazenamento de água do solo pouco inferior ao volume registrado na primeira simulação realizada cultura. Assim, os índices de abstração inicial obtidos com a capacidade de armazenamento de água do simulador foram praticamente os mesmos apresentados na primeira simulação, com diferença de 1% na média, com $\lambda=0,13$. A média do índice de abstração da segunda simulação no uso da terra Café foi próximo à primeira simulação e pouco inferior ao adotado originalmente pelo SCS-CN.

Os valores $CN_{si}=89$ foram os mesmos apresentados na primeira simulação, com três pontos superiores ao valor CN_{tb} – AMC III definidos para a cultura perene do Café ($CN_{tb}=86$). O armazenamento de água do solo com a $I_a=0,2 \cdot S$, semelhante ao da outra simulação no Café, foi em média 3 vezes maior do que a capacidade de armazenamento definida com os dados do simulador apenas, com média de 105,20 mm, e o seu índice de abstração inicial foi o mesmo para a primeira simulação, entretanto, da mesma forma inferior ao índice de abstração inicial com o armazenamento obtido com o simulador de chuva.

Devido à maior capacidade de armazenamento com $I_a=0,2 \cdot S$, os valores CN_{p-q} foram inferiores aos valores CN_{si} , variando de 68 a 74, com média de 71, inferiores ao valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade III ($CN_{tb}=86$), e valores CN_{si} próximos ao CN_{tb} na condição antecedente de umidade II ($CN_{tb}=72$). A capacidade de armazenamento de água com o índice de abstração inicial do simulador de chuva foi em média mais de 35 mm maior do que $Sp-q$, variando de 111,91 a 165,95, alterando consideravelmente 54,04 mm entre as calhas 2A e 2D.

3.3.3 Primeira simulação – primavera-verão

Na Tabela 12 observam-se os dados da simulação realizada no período da primavera-verão.

Tabela 12 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – período primavera-verão

CALHAS	Q (mm)	Ia (mm)	Ssi (mm)	CNsi	λ_{si}	Sp-q (mm)	λ_{p-q}	CNp-q	Sλ (mm)
3A	1,47	4,06	65,05	80	0,06	235,80	0,02	52	583,96
3B	2,48	4,90	64,04	80	0,08	211,71	0,02	55	427,72
3C	4,03	2,49	62,49	80	0,04	185,48	0,01	58	495,58
3D	3,08	3,60	63,43	80	0,06	200,41	0,02	56	472,07
MÉDIA	2,76	3,76	63,75	80	0,06	208,35	0,02	55	494,83

Q – escoamento superficial; **Ia** – abstração inicial; **Ssi** – capacidade de armazenamento de água do solo; **λ_{si}** – índice de Ia/Ssi; **CNsi** – valor CN; **Sp-q** – capacidade de armazenamento de água do solo com Ia=0,2; **λ_{p-q}** – índice de Ia/Sp-q; **CNp-q** – valor CN; **S λ** - capacidade de armazenamento de água do solo com relação ao **λ_{si}** ;

A primeira simulação na cultura do Café para o período da primavera-verão apresentou um escoamento superficial maior do que as simulações realizadas no período do outono-inverno em virtude de essas simulações serem realizadas em um período de 60 minutos, apresentado mais do que o dobro da primeira simulação realizada no período do outono-inverno; primeira simulação do outono-inverno com média de 0,96 mm e a primeira simulação da primavera-verão com média de 2,76 mm. No entanto, o escoamento superficial variou de 1,47 mm a 4,03 mm, diferença de 2,56 mm entre uma calha e outra, o que corrobora com a ideia de que em áreas de vegetação arbustivo-herbáceo é difícil definir índices de abstração inicial, pois, os mesmos são uma correlação com a capacidade de armazenamento de água do solo, e o armazenamento de água do solo neste caso é em função do escoamento superficial.

Do mesmo modo que o escoamento superficial, o volume de abstração inicial também apresentou considerável variação, de 2,49 mm a 4,90 mm, uma diferença de 2,41 mm entre uma

calha e outra, apresentando uma média de 3,76 mm. Devido a essa simulação ter sido realizada em um período de uma hora, a capacidade de armazenamento de água do simulador de chuva foi em média quase o dobro do registrado na primeira simulação do período do outono-inverno, o que implicará em valores CN distintos para cada período. O armazenamento de água do simulador de chuva variou de 62,49 mm a 65,05, diferença insuficiente para alterar os valores CN_{si}, que foram em todas as calhas igual a 80, nove pontos inferiores ao valor CN_{si} média de ambas as simulações no período do outono-inverno.

Esses dados indicam a interferência do volume de precipitação e, conseqüentemente, do volume de escoamento superficial na determinação do valor CN, devido ao mesmo ser uma derivação do armazenamento de água pelo solo. O valor CN_{si} da primeira simulação ficou entre o valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade II e III para a cultura do Café, o que pode indicar eficácia na definição de valores CN para bacias hidrográficas a partir de dados de precipitação e de escoamento superficial, e que a escolha de valores CN deve considerar definitivamente o volume de precipitação.

Neste sentido, o volume de precipitação pode interferir nos índices de abstração inicial, pois os índices somados à capacidade de armazenamento de água do simulador de chuva foram inferiores aos mesmos índices obtidos na cultura do Café no período do outono-inverno, os quais na simulação do período da primavera-verão variaram de 0,04 a 0,08, com média de 0,06, sendo inferiores aos definidos pelo NRCS. O armazenamento de água do solo que considera a $I_a=0,2 \cdot S$ variou de 185,48 mm a 235,80 mm, com média de 208,35 mm, revelando um armazenamento de água do solo superior aos volumes registrado nas simulações do período do outono-inverno.

Conseqüentemente, obteve-se um menor valor CN se comparado ao valor CN obtido com o armazenamento do simulador de chuva, e também, um menor índice de abstração inicial, com média de 0,02. A capacidade de armazenamento de água com o índice de abstração inicial do

simulador de chuva foi superior a todos os outros armazenamentos encontrados para a simulação do Café – primavera-verão, com média de 494,83 mm. Como mencionado nas simulações anteriores para a cultura do Café, o valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade II, grupo hidrológico do solo ‘C’ foi igual a 72, valor CN 8 pontos inferiores ao CN_{si} e 17 pontos superior ao CN_{p-q}.

No entanto, essa simulação da primavera-verão foi enquadrada na condição antecedente de umidade III, e o valor CN_{tb} eleva-se de 72 para 86, o que faz do CN_{si} 6 pontos inferiores ao CN_{tb} e faz do CN_{p-q} em média 31 pontos inferiores ao CN_{tb} – AMC III. A média do valor CN_{p-q} enquadra-se mais no valor CN_{tb} – AMC I que reduz de 86 (AMC III) para 53, muito próximo ao valor CN_{p-q}, que foi em média igual a 55 (variou de 52 a 58). Pode-se inferir que o valor CN_{si} dessa simulação foi próximo ao valor CN_{tb} nas condições de umidade II e III e, por outro lado, o valor CN_{p-q} foi igual ao CN_{tb} na condição antecedente de umidade I.

3.3.4 Segunda simulação – primavera-verão

Na Tabela 13 observam-se os dados da simulação realizada no período da primavera-verão. Como mencionado, a segunda simulação da cultura do Café foi realizada 30 minutos após o término da primeira simulação. Na Tabela 13 são apresentados os dados do volume de escoamento superficial, o volume de abstração inicial, o volume de armazenamento de água pelo solo e os respectivos valores CN. Também podem ser verificados os índices de abstração inicial obtidos a partir do volume de abstração inicial correlacionados às capacidades de armazenamento de água pelo solo.

Tabela 13 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – período primavera-verão

CALHAS	Q (mm)	Ia (mm)	Ssi (mm)	CNsi	λ_{si}	Sp-q (mm)	λ_{p-q}	CNp-q	S λ (mm)
4A	1,63	4,06	64,88	80	0,06	231,32	0,02	52	564,39
4B	1,96	4,62	64,55	80	0,07	223,02	0,02	53	484,84
4C	6,26	1,85	60,25	81	0,03	158,60	0,01	62	410,58
4D	3,51	3,14	63,00	80	0,05	193,27	0,02	57	477,25
MÉDIA	3,34	3,42	63,17	80	0,05	201,55	0,02	56	484,27

Q – escoamento superficial; Ia – abstração inicial; Ssi – capacidade de armazenamento de água do solo; λ_{si} – índice de Ia/Ssi; CNsi – valor CN; Sp-q – capacidade de armazenamento de água do solo com Ia=0,2; λ_{p-q} – índice de Ia/Sp-q; CNp-q – valor CN; S λ - capacidade de armazenamento de água do solo com relação ao λ_{si} ;

Para a segunda simulação no período da primavera-verão observa-se em média um maior volume de escoamento superficial (média de 3,34 mm) se comparado com a primeira simulação do período, e uma variação de 1,63 mm a 6,26 mm. A calha 4C (volume de 6,26 mm) apresentou o maior volume de escoamento superficial entre todas as simulações realizadas na cultura do Café, fato que, como mencionado, pode ser atribuído pelo direcionamento do fluxo d'água através dos galhos da planta de uma parcela para a outra parcela, situação semelhante ao que pode ocorrer em áreas de matas, devido ao escoamento pelo tronco.

Como a abstração inicial foi determinada pelo início do escoamento superficial, temos na calha 4C o menor volume de abstração inicial, pois, nesta calha, o início do escoamento superficial foi iniciado primeiro do que nas outras calhas para esta simulação, entretanto, houve um considerável variação no volume de abstração inicial, de 1,85 mm a 4,62 mm, e uma média de 3,42 mm.

No geral, como o volume de escoamento superficial foi maior do que a primeira simulação do período, o volume de armazenamento foi menor, variando de 60,25 mm a 64,88 mm, com média de 63,17 mm. Como a calha 4C apresentou o maior volume de escoamento superficial, houve uma elevação do valor CNsi para 81, mas, a média entre todas as calhas permaneceu em CNsi=80 e a média do índice de abstração inicial do simulador de chuva foi

$\lambda_{si}=0,05$, inferior ao determinado pelo NRCS ($\lambda=0,2$), com variação de 0,03 a 0,07. O armazenamento de água que considera a $I_a=0,2 \cdot S$ variou de 158,60 mm a 231,32 mm, produzindo conseqüentemente um menor índice de abstração inicial, variando de 0,01 a 0,02 e média de 0,02.

Como o armazenamento de água do solo com $I_a=0,2 \cdot S$ é maior do que o armazenamento do simulador de chuva, o valor CN_{p-q} foi menor do que o valor CN_{si} , variando de 52 a 62 e média de 56. Assim, da mesma forma que na primeira simulação do período, os valores CN_{si} foram mais próximos CN_{tb} na condição antecedente de umidade III e o valor CN_{p-q} foi mais próximo ao valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade I.

A capacidade de armazenamento de água do solo com o índice de abstração inicial simulador de chuva foi mais do que o dobro do armazenamento com $I_a=0,2 \cdot S$, o que conseqüentemente, reduzindo consideravelmente, o valor CN obtido com esse volume de armazenamento. O índice de abstração inicial (λ_{si}) para as simulações no uso da terra Café foi menor do que o índice de I_a do período do outono-inverno, provavelmente devido à maior umidade do solo nesse período, o que está de acordo com a AMC III e este ser o período de chuvas para a região.

No geral, todos os índices de abstração inicial obtidos nessa simulação foram inferiores ao determinado oficialmente pelo NRCS, e o valor CN_{si} foi inferior ao CN_{tb} – AMC III selecionados nas tabelas do NRCS e superior ao valor CN_{tb} – AMC II. Como pode ser observado na Tabela 13, o valor CN_{si} médio foi de 80, inferior ao $CN_{tb}=86$ (AMC III), indicando uma melhor capacidade de armazenamento de água do solo do uso da terra Café no período da primavera-verão do que mostra o valor CN_{tb} . Como nas outras simulações no uso da terra Café, o índice de abstração inicial foi inferior ao adotado pelo método SCS-CN.

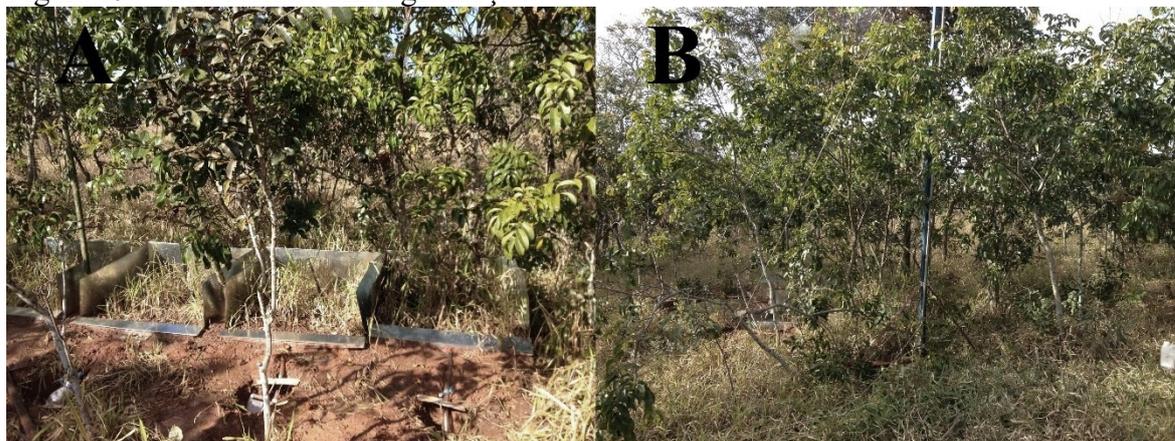
No período do outono-inverno, tem-se na primeira simulação e na segunda simulação uma média do índice de I_a $\lambda=0,14$ e $\lambda=0,13$ respectivamente, e para o período da primavera-

verão com $\lambda=0,06$ e $\lambda=0,05$ para a primeira e para a segunda simulação, respectivamente. Isso pode indicar não ser seguro adotar um único índice de abstração inicial para as diversas estações do ano nas condições climáticas de uso e de ocupação da terra e do tipo de solo verificadas na pesquisa.

3.4 Uso da terra – Cerrado em regeneração

A área de Cerrado foi utilizada como pastagem na Fazenda do Glória e em alguns lugares encontram-se manchas de cerrado que foram escolhidas para a realização do experimento. Na Figura 19 percebe-se a quantidade de Braquiária entremeio a área de cerrado.

Figura 19 – Uso cerrado em regeneração



A – Parcela experimental, as calhas coletoras e os recipientes de armazenamento instalados no cerrado;

B – visualização de parte do simulador instalado no cerrado em regeneração;

O cerrado foi caracterizado por: uso da terra - *Brush-brush-forbs-grass mixture with brush the major element* e condição hidrológica ‘boa’, por possuir mais de 75% de cobertura do solo. O grupo hidrológico do solo da área de cerrado foi definido em ‘C’ com 20% e 40% de argila e mais de 50% de areia, e o valor CNTb na condição antecedente de umidade II igual a 65. Na condição antecedente de umidade III o valor CNTb eleva-se de 65 para 82 e na condição

anterior de umidade I e valor CNtb é igual a 45. Todas as simulações realizadas no uso da terra Cerrado foram enquadradas na condição anterior de umidade III.

3.4.1 Primeira simulação – outono-inverno

Os dados do volume de escoamento superficial, o volume de abstração inicial e a capacidade de armazenamento de água do solo são apresentados na Tabela 14. Também, são apresentados os respectivos valores CN e os índices de abstração inicial. A primeira simulação no uso da terra Cerrado teve duração de 30 minutos.

Tabela 14 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – período outono-inverno

CALHAS	Q (mm)	Ia (mm)	Ssi (mm)	CNsi	λ_{si}	Sp-q (mm)	λ_{p-q}	CNp-q	S λ (mm)
CALHA 1A	1,93	2,64	31,32	89	0,08	93,91	0,03	73	168,53
CALHA 1B	0,83	2,64	32,43	89	0,08	115,29	0,02	69	232,59
CALHA 1C	7,90	2,64	25,36	91	0,10	47,59	0,06	84	63,31
CALHA 1D	27,35	2,64	5,91	98	0,45	5,62	0,47	98	4,47
MÉDIA	9,50	2,64	23,76	92	0,18	65,60	0,14	81	117,23

Q – escoamento superficial; Ia – abstração inicial; Ssi – capacidade de armazenamento de água do solo; λ_{si} – índice de Ia/Ssi; CNsi – valor CN; Sp-q – capacidade de armazenamento de água do solo com Ia=0,2; λ_{p-q} – índice de Ia/Sp-q; CNp-q – valor CN; S λ - capacidade de armazenamento de água do solo com relação ao λ_{si} ;

A simulação no uso da terra Cerrado no período do outono-inverno apresentou média do volume de escoamento superficial de 9,50 mm, e uma variação de 0,83 mm a 27,35 mm. Este maior escoamento superficial na calha 4A deve-se à heterogeneidade de parcelas de Cerrado, onde o escoamento pelo tronco direciona o fluxo d'água para determinadas calhas coletoras (Calha 1D), e, por outro lado, a maior cobertura vegetal em outra calha pode reduzir o escoamento superficial captado pela calha coletora (Calha 1B). Dentre todas as simulações realizadas até então, no uso da terra Cerrado apresentou a maior variação no volume de escoamento superficial.

Devido à grande variação no volume de escoamento superficial observou-se uma grande variação nas capacidades de armazenamento de água do solo, de 5,91 mm a 32,43 mm, com média de 23,73 mm. O volume de abstração inicial no uso da terra Cerrado foi inferior ao volume de abstração inicial dos usos da terra Braquiária e Café. Este menor volume de I_a pode-se relacionar à maior média do valor $CN_{si}=92$ se comparado aos usos da terra Braquiária e Café, ou seja, um menor volume de I_a e, conseqüentemente, um maior volume de escoamento superficial (maior valor CN).

Como resultados, temos que um maior volume de escoamento superficial produziu um maior valor $CN_{si}=98$ e um baixo volume de escoamento superficial produziu um menor valor $CN_{si}=89$. Observe a considerável diferença entre os valores CN_{si} para as calhas nesta simulação deste período, o que reforça a grande variação dos valores CN em áreas de mata, como apresentado no uso da terra Cerrado. Devido às simulações no Cerrado serem enquadradas na condição antecedente de umidade III, a média do valor $CN_{si}=92$ foi 10 pontos superior ao $CN_{tb}=82$ – AMC III, e muito superior ao CN_{tb} no AMC I e AMC II. Mesmo considerando o menor valor CN_{si} entre as calhas, todos os valores CN_{si} do Cerrado foram menores do que o CN_{tb} -AMC III. Todos os valores CN_{si} foram superiores aos valores CN_{tb} em AMC I e AMC II.

A média do índice de abstração inicial do simulador de chuva foi superior à média apresentada por todos os outros usos até então analisados, com exceção do uso da terra Milho. O índice de abstração inicial variou de $\lambda_{si}=0,08$ a $\lambda_{si}=0,45$, e na calha em que apresentou o maior escoamento superficial foi onde encontrou-se o maior índice de abstração inicial. A média do índice de abstração inicial do simulador de chuva foi igual a $\lambda_{si}=0,18$, índice próximo ao determinado oficialmente pelo NRCS.

A capacidade de armazenamento de água do solo, que considera a $I_a=0,2 \cdot S$, apresentou a maior variação entre as calhas para esse armazenamento e entre todas as simulações, de 5,62

mm a 115,29 mm, com média de 65,60 mm. Verificou-se, nesta simulação, no uso da terra Cerrado uma maior variação entre o volume de escoamento superficial entre as calhas, maior variação que refletiu em todos os outros parâmetros, como na capacidade de armazenamento de água do simulador de chuva, do respectivo índice de abstração inicial e dos valores CN. Semelhante diferença foi verificada na capacidade de armazenamento de água com $I_a=0,2 \cdot S$ e nos respectivos índices de abstração inicial com variação de $\lambda_{p-q}=0,02$ a $\lambda_{p-q}=0,47$, e apresentou uma média de $\lambda_{p-q}=0,14$.

Os valores CN_{p-q} variaram de 69 a 98, com média de 81, média próxima ao CN_{tb} na condição antecedente de umidade III ($CN_{tb}=82 - AMC III$). Mas, o menor valor CN_{p-q} entre as calhas foi próximo ao valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade II ($CN_{tb}=65$). O armazenamento de água do solo, considerando o índice de abstração inicial do simulador de chuva variou de 4,47 mm a 232,59 mm e uma média de 117,23 mm, o que teoricamente reflete na grande variação dos valores CN.

Considerando os valores CN na condição antecedente de umidade I, há uma diferença considerável de 47 pontos entre a média do $CN_{si}=92$ para o $CN_{tb}=45$ (AMC I). Essa diferença de 47 pontos foi atribuída ao baixo volume de precipitação e de escoamento superficial para essa simulação no uso da terra Cerrado. A variação do valor CN_{si} entre as calhas reforça a dificuldade em selecionar valores CN para áreas de mata, floresta etc., pois, muitas são as variáveis envolvidas no movimento da água em áreas de matas, florestas, bosques etc., como o escoamento d'água pelo tronco e a evapotranspiração neste tipo de ambiente.

Neste mesmo sentido, observaram-se variações nos índices de I_a (λ_{si}), com média próxima aos $I_a=0,2 \cdot S$ do NRCS – ($\lambda_{si}=0,18$). Ocorreram variações nos índices de I_a que vão de 8% a 45% da capacidade de armazenamento de água do solo. Da mesma forma, o engessamento do índice de I_a para as áreas de Cerrado mostram-se inconsistentes, ocorrendo uma grande variação. O índice médio de abstração inicial para essa simulação foi o maior entre todos os

usos e ocupação da terra e apresentou uma variabilidade considerável entre as calhas, e podendo considerar todas as condições antecedentes de umidade.

3.4.2 Segunda simulação – outono-inverno

Os dados do volume de escoamento superficial, o volume de abstração inicial e a capacidade de armazenamento de água do solo são apresentados na Tabela 15. A tabela ainda contempla os respectivos valores CN e os índices de abstração inicial. A segunda simulação no uso da terra Cerrado foi realizada logo em seguida da primeira simulação com um intervalo de 15 minutos para que cessasse o escoamento superficial.

Tabela 15 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – período outono-inverno

CALHAS	Q (mm)	Ia (mm)	Ssi (mm)	CNsi	λsi	Sp-q (mm)	λp-q	CNp-q	Sλ (mm)
CALHA 2A	0,40	3,33	21,77	92	0,15	81,32	0,04	76	102,00
CALHA 2B	0,34	3,33	21,83	92	0,15	83,37	0,04	75	105,16
CALHA 2C	6,96	3,33	15,21	94	0,22	25,11	0,13	91	24,12
CALHA 2D	15,88	3,33	6,29	98	0,53	6,55	0,51	97	4,71
MÉDIA	5,90	3,33	16,28	94	0,26	49,09	0,18	85	59,00

Q – escoamento superficial; **Ia** – abstração inicial; **Ssi** – capacidade de armazenamento de água do solo; **λsi** – índice de Ia/Ssi; **CNsi** – valor CN; **Sp-q** – capacidade de armazenamento de água do solo com Ia=0,2; **λp-q** – índice de Ia/Sp-q; **CNp-q** – valor CN; **Sλ** - capacidade de armazenamento de água do solo com relação ao λsi;

Nesta simulação, que teve duração de 20 minutos o maior volume de escoamento superficial foi na calha 2D, com um volume de 15,88 mm, e o menor volume de escoamento superficial foi verificado na calha 2B, com 0,34 mm. Obviamente, o volume de escoamento superficial nesta segunda simulação no uso da terra Cerrado foi inferior, no geral a metade do volume escoado na primeira simulação, com média de 5,90 mm.

Devido à segunda simulação, com duração de 20 minutos, evidenciou-se que quanto menor o volume de precipitação menores foram as capacidades de armazenamento de água do

solo e, conseqüentemente, maiores foram os valores CNsi. Os valores CNsi para essa segunda simulação do período do outono-inverno variaram de 92 a 98, com média de 94. Essa simulação foi enquadrada na condição antecedente de umidade III, apresentando um valor CNTb=82, inferior a todos os valores CNsi de todas as calhas.

Os valores CNp-q foram menores do que os valores CNsi devido às capacidades de armazenamento de água serem maiores, variando de 6,55 mm a 83,37 mm, com média de 49,09 mm; e os valores CNp-q variaram de 75 a 97 e média de 85, valor CN médio próximo ao valor CNTb na condição antecedente de umidade III (CNTb=82). O índice de abstração inicial do simulador de chuva oscilou de $\lambda_{si}=0,15$ a $\lambda_{si}=0,53$, apresentando uma média de $\lambda_{si}=0,26$ próximo ao determinado pelo NRCS e, também, próximo ao índice apresentado na primeira simulação do período. A capacidade de armazenamento de água do solo com o índice de abstração inicial do simulador de chuva foi maior do que os outros armazenamentos de água do solo obtidos nessa simulação, oscilando de 4,71 mm a 105,16 mm, com média de 59,00 mm, o que proporcionaria valor CN médio próximo ao CNTb – AMC III - uso da terra Cerrado.

O índice de abstração inicial com o armazenamento Sp-q variou de $\lambda_{p-q}=0,04$ a $\lambda_{p-q}=0,51$ e a média foi de $\lambda_{p-q}=0,18$, ou seja, uma variação de 38% na relação Ia/S comparando-se o limite superior e inferior dos resultados entre as 4 calhas.

3.4.3 Terceira simulação – outono-inverno

A Tabela 16 apresenta os valores de escoamento superficial, abstração inicial e os valores CN para a terceira simulação do período do outono-inverno para o uso da terra Cerrado. Com finalidade de comparação, esta simulação teve duração de 10 minutos.

Tabela 16 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – período outono-inverno

CALHAS	Q (mm)	Ia (mm)	Ssi (mm)	CNsi	λ_{si}	Sp-q (mm)	λ_{p-q}	CNp-q	S λ (mm)
CALHA 3A	0,44	3,88	10,65	96	0,36	34,83	0,11	88	21,42
CALHA 3B	1,12	3,88	9,96	96	0,39	25,67	0,15	91	16,05
CALHA 3C	1,32	3,88	9,76	96	0,40	23,86	0,16	91	14,93
CALHA 3D	2,87	3,88	8,22	97	0,47	14,85	0,26	94	9,17
MÉDIA	1,43	3,88	9,65	96	0,41	24,80	0,17	91	15,39

Q – escoamento superficial; Ia – abstração inicial; Ssi – capacidade de armazenamento de água do solo; λ_{si} – índice de Ia/Ssi; CNsi – valor CN; Sp-q – capacidade de armazenamento de água do solo com Ia=0,2; λ_{p-q} – índice de Ia/Sp-q; CNp-q – valor CN; S λ - capacidade de armazenamento de água do solo com relação ao λ_{si} ;

Nesta terceira simulação, realizada no período do outono-inverno o volume de escoamento superficial variou de 0,44 mm a 2,87 mm e uma média de 1,43 mm. Mesmo com simulação sendo realizada em um tempo de 10 minutos, o volume de escoamento superficial da calha 3A e 2A foram próximos, 0,44 mm e 0,40 respectivamente. No entanto, ao se comparar o volume de escoamento nas calhas 1D, 2D e 3D, observa-se uma diferença considerável no volume de escoamento superficial, com 27,35 mm, 15,88 mm e 2,87 mm, podendo evidenciar a variação que ocorre no escoamento superficial em áreas de mata, o que conseqüentemente, altera os valores CN.

Isto pode indicar que se deve considerar o volume de precipitação, e também, o índice de abstração inicial na seleção dos valores CN para a determinação do armazenamento de água, e conseqüentemente, do valor CN. Devido ao baixo tempo da simulação, a capacidade de armazenamento de água do simulador de chuva foi reduzida em todas as calhas, variando de 8,22 mm a 10,65 mm, e uma média de 9,65 mm. Observe-se o aumento do volume de abstração inicial da primeira para a segunda simulação, e também o aumento para a terceira simulação do período do outono-inverno, fato curioso em virtude de, teoricamente, o volume de abstração inicial ter que reduzir e não aumentar devido à saturação do solo, menor evaporação e armazenamento de água, se considerar que essa simulação foi realizada na sequência das outras duas primeiras simulações.

Devido à redução da capacidade de armazenamento de água do solo houve um aumento dos valores CN_{si} se comparados com as duas primeiras simulações realizadas no período do outono-inverno. Os valores CN_{si} na terceira simulação variaram de 96 a 97, com média de 96, média superior àquela apresentada na primeira e na segunda simulação do período, com CN_{si}=92 e CN_{si}=94, respectivamente. Essa média da terceira simulação foi 14 pontos superiores ao valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade III (CN_{tb}=82).

A capacidade de armazenamento de água que considera a $I_a=0,2 \cdot S$ foi superior ao armazenamento de água do simulador de chuva, entretanto, com pouca diferença, variando de 14,85 mm a 34,83 mm e média de 24,80. Esse aumento no armazenamento propiciou maiores valores CN_{p-q}, variando de 88 a 94 e média de 91. O volume foi de 3,88 mm e correlacionando com a capacidade de armazenamento de água do simulador de chuva obteve-se um índice de abstração inicial que oscilou de $\lambda_{si}=0,36$ a $\lambda_{si}=0,47$ e uma média entre todas as calhas de $\lambda_{si}=0,41$. Observe que houve um aumento no índice de abstração inicial do simulador de chuva da terceira em relação a segunda simulação.

Como mencionado anteriormente a redução do volume de precipitação influenciou diretamente os valores CN, ou seja, aumentando os valores CN_{si} se comparados às simulações de 30 minutos e 20 minutos. A cada redução de 10 minutos no tempo de simulação elevou-se o valor CN_{si} médio em 2 pontos (30 min.=92; 20 min.=94; 30 min.=96) para o uso da terra Cerrado. Considerando a simulação de 10 minutos na condição de umidade III (AMC III), o valor CN_{tb} eleva-se de 65 para 82, mesmo assim, distante do valor médio de CN_{si} para esta simulação.

O índice de abstração inicial dessa simulação foi superior ao determinado pelo NRCS ($\lambda=0,2$), e se comparar o índice de abstração inicial dessa simulação neste uso da terra e deste período, com os usos da terra Café e Braquiária, observa-se um aumento considerável, fato

atribuído ao baixo volume de armazenamento de água do solo e por conseguinte, ao baixo volume de precipitação.

Ao analisar o índice de abstração inicial obtido com a capacidade de armazenamento com S_{p-q} , observa-se uma redução do índice de abstração inicial, devido ao aumento do armazenamento de água do solo, reduzindo mais da metade do valor do índice se comparado ao índice obtido com o armazenamento de água do simulador de chuva, variando de $\lambda_{p-q}=0,11$ a $\lambda_{p-q}=0,26$, com média de 0,17.

O volume de abstração inicial e a baixa capacidade de armazenamento de água para essa simulação produziu um elevado índice de abstração inicial (λ_{si}), com limite inferior $\lambda_{si}=0,36$ e o limite superior de $\lambda_{si}=0,47$, superiores aos $\lambda=0,2$ do SCS-CN. A média do λ_{si} foi igual a 0,41, o dobro do adotado oficialmente. A média do índice de abstração inicial $\lambda_{p-q}=0,17$ foi próxima ao índice adotado originalmente pelo método SCS-CN ($I_a=0,2 \cdot S - 20\%$ da capacidade de armazenamento de água do solo). Os valores CN_{p-q} foram inferiores aos valores CN_{si} devido à maior capacidade de armazenamento de água de S_{p-q} .

3.4.4 Quarta simulação – outono-inverno

Na tabela a seguir são apresentados os dados da simulação para o período do outono-inverno (Tabela 17) com 10 minutos de duração.

Tabela 17 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – período outono-inverno

CALHAS	Q (mm)	Ia (mm)	Ssi (mm)	CNsi	λ_{si}	Sp-q (mm)	λ_{p-q}	CNp-q	S λ (mm)
CALHA 4A	4,77	3,12	6,32	98	0,49	8,87	0,35	97	5,87
CALHA 4B	1,51	3,12	9,57	96	0,33	22,35	0,14	92	16,29
CALHA 4C	1,15	3,12	9,93	96	0,31	25,38	0,12	91	18,61
CALHA 4D	7,12	3,12	3,97	98	0,79	4,42	0,71	98	2,53
MÉDIA	3,63	3,12	7,45	97	0,48	15,26	0,33	94	10,82

Q – escoamento superficial; Ia – abstração inicial; Ssi – capacidade de armazenamento de água do solo; λ_{si} – índice de Ia/Ssi; CNsi – valor CN; Sp-q – capacidade de armazenamento de água do solo com Ia=0,2; λ_{p-q} – índice de Ia/Sp-q; CNp-q – valor CN; S λ - capacidade de armazenamento de água do solo com relação ao λ_{si} ;

Nesta quarta simulação no uso da terra Cerrado, tem-se em média um aumento significativo do volume de escoamento superficial, entretanto, há uma oscilação entre as calhas caso cotejada com o escoamento superficial verificado na terceira simulação do período. Comparando a calha 4A com a calha 3A, verifica-se um aumento significativo, mas, comparando-se a calha 4C com a calha 3C observa-se uma redução do volume de escoamento superficial, mesmo que não muito significativo. Há uma redução do volume de abstração inicial da terceira para a quarta simulação do período; na terceira simulação, tem-se um volume de abstração inicial de 3,88 mm; e na quarta simulação este volume de reduz-se para 3,12 mm, apesar de pouco significativo.

Como houve um aumento médio do escoamento superficial há, conseqüentemente, uma redução da capacidade de armazenamento de água do solo do simulador de chuva, que em média reduz de 9,65 mm (terceira simulação do período outono-inverno) para 7,45 mm (quarta simulação do período outono-inverno). Assim, tem-se um aumento do valor CNsi médio (CNsi=97), oscilando de 96 a 98 entre as calhas, valor CNsi 15 pontos acima do valor CNtb – AMC III (CNtb=82), fato atribuído ao baixo volume de precipitação.

Essa simulação foi enquadrada na condição antecedente de umidade III com média do volume de escoamento superficial de 3,63 mm, variando de 1,15 mm a 7,12 mm, corroborando a ideia de que o escoamento superficial (e também, os valores CN) para áreas de florestas e

matas serem muito difíceis de definir, com grande variação espacial devido à heterogeneidade desses tipos de formações vegetais, como é o caso do Cerrado com as suas diversas fitofisionomias.

A capacidade de armazenamento com $I_a=0,2 \cdot S$ foi superior ao armazenamento de água do solo do simulador de chuva, variando de 4,42 mm a 25,38 mm, com média de 15,26 mm, e os valores CN_{p-q} reduziram-se em relação ao valor CN_{si}, oscilando de CN_{p-q}=91 a CN_{p-q}=98, com média de CN_{p-q}=94, 12 pontos superiores ao valor CN_{tb} – AMC III selecionado para o uso da terra Cerrado deste período.

O índice de abstração inicial com o armazenamento do simulador de chuva variou de 0,31 a 0,79, com média de 0,48. Observe a considerável oscilação do índice de abstração inicial e a elevada média, superior a 20% da capacidade de armazenamento. Isso comprova que a grande variação do índice de abstração inicial pode ocorrer no uso da terra Cerrado. O índice de abstração inicial com Sp-q também apresentou grande variação, de 0,12 a 0,71, com média de 0,33.

A capacidade de armazenamento obtida com o índice de abstração inicial simulador de chuva oscilou de $S_\lambda=2,53$ mm a $S_\lambda=18,61$ mm, com média de $S_\lambda=5,99$, média inferior a Sp-q e superior a S_{si}. Os valores CN a partir desse armazenamento de água seriam próximos aos outros valores CN's dessa simulação e, também, superiores ao valor CN_{tb} -AMC III.

O volume de abstração inicial aproximou-se dos volumes de abstração inicial apresentados pelas outras simulações do Cerrado, entretanto, os índices de abstração inicial foram superiores aos índices apresentados pelas outras simulações, devido ao baixo volume de armazenamento de água pelo solo desta simulação, com média de $\lambda_{si}=0,48$. Os valores de λ_{p-q} são inferiores aos volumes de λ_{si} para esta simulação devido a maior capacidade de armazenamento de água Sp-q e, portanto, menores índices λ_{p-q} quando comparados aos λ_{si} .

3.4.5 Quinta simulação – outono-inverno

Na Tabela 18, são apresentados os dados da capacidade de armazenamento de água do solo de uma simulação no uso da terra Cerrado com duração de 20 minutos e em período de repouso vegetativo, condição antecedente de umidade III com valor $CN_{tb}=82$ (AMC III).

Tabela 18 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – período outono-inverno

CALHAS	Q (mm)	Ia (mm)	Ssi (mm)	CNsi	λ_{si}	Sp-q (mm)	λ_{p-q}	CNp-q	S λ (mm)
CALHA 5A	15,74	1,94	6,43	98	0,30	6,73	0,29	97	5,99
CALHA 5B	3,30	1,94	18,87	93	0,10	42,69	0,05	86	60,85
CALHA 5C	3,81	1,94	18,36	93	0,11	39,36	0,05	87	54,38
CALHA 5D	15,20	1,94	6,97	97	0,28	7,46	0,26	97	6,78
MÉDIA	9,51	1,94	12,66	95	0,20	24,06	0,16	92	32,00

Q – escoamento superficial; Ia – abstração inicial; Ssi – capacidade de armazenamento de água do solo; λ_{si} – índice de Ia/Ssi; CNsi – valor CN; Sp-q – capacidade de armazenamento de água do solo com Ia=0,2; λ_{p-q} – índice de Ia/Sp-q; CNp-q – valor CN; S λ - capacidade de armazenamento de água do solo com relação ao λ_{si} ;

Devido a esta simulação ser a última simulação em uma sequência de 3, verificou-se um elevado volume de escoamento superficial se comparado às simulações 3 e 4, oscilando de 3,30 mm a 15,74 mm, com média de 9,51 mm. A capacidade de armazenamento de água do solo do simulador de chuva para a quinta simulação variou de 6,43 mm a 18,87 mm, com média de 12,66 mm, média superior às simulações 3 e 4 (10 minutos), volume semelhante à simulação 2 (20 minutos) e inferior ao da simulação 1 (30 minutos).

Os valores CNsi variaram de 93 a 98, com média de 95, valores CNsi superiores aos valores CN_{tb} – AMC III selecionados para o uso da terra Cerrado período de repouso vegetativo. A capacidade de armazenamento de água do solo com Ia=0,2·S oscilou de 6,73 mm a 42,69, e média de 24,06 mm e os valores CNp-q variaram de 86 a 97, e média de 92. Devido ao baixo volume de precipitação e ao elevado volume de escoamento superficial para essa

simulação, obteve-se um elevado valor $CN_{si}=95$ e valor $CN_{p-q}=92$, distante do valor $CN_{tb}=82$ (AMC III).

Os dados mostram um menor volume de I_a se comparado às outras simulações do uso da terra Cerrado período outono-inverno. Isso pode indicar que se deve considerar variações na abstração inicial para a análise de eventos pluviométricos em um mesmo dia. Os índices de abstração inicial do simulador de chuva variaram de $\lambda_{si}=0,10$ a $\lambda_{si}=0,30$, e média de $\lambda_{si}=0,20$, média idêntica àquela estipulada pelo NRCS. Entretanto, houve uma redução média dos índices de abstração inicial com S_{p-q} , igual a $\lambda_{p-q}=0,16$ e variação entre as parcelas de 0,05 a 0,29, cuja variação evidencia a heterogeneidade desse índice em áreas de mata (cerrado).

Da mesma forma que as outras capacidades de armazenamento de água do solo desta simulação, o armazenamento com o índice de abstração inicial do simulador de chuva apresentou considerável variação, de $S_{\lambda}=5,99$ mm a $S_{\lambda}=60,85$ mm, e média aritmética de $S_{\lambda}=32,00$ mm, e teoricamente os valores CN 's oscilariam de 81 a 98, onde o valores CN menor ($CN=81$) estariam próximos ao valor CN_{tb} – AMC III ($CN_{tb}=82$).

3.4.6 Primeira simulação – primavera-verão

Uma outra simulação no uso da terra Cerrado foi realizada no período vegetativo (período da primavera-verão) com dados contemplados na Tabela 19. A simulação enquadrou-se na condição antecedente de umidade III, apresentando valor $CN_{tb}=82$. Esta simulação foi realizada em um tempo de 60 minutos.

Tabela 19 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – primeira simulação primavera-verão

CALHAS	Q (mm)	Ia (mm)	Ssi (mm)	CNsi	λ_{si}	Sp-q (mm)	λ_{p-q}	CNp-q	Sλ (mm)
CALHA 6A	15,21	1,48	51,30	83	0,03	97,90	0,02	72	184,95
CALHA 6B	24,09	1,20	42,43	86	0,03	65,23	0,02	80	104,19
CALHA 6C	22,43	1,94	44,08	85	0,04	70,25	0,03	78	108,25
CALHA 6D	24,25	0,83	42,26	86	0,02	64,75	0,01	80	106,69
MÉDIA	21,49	1,36	45,02	85	0,03	74,53	0,02	77	126,02

Q – escoamento superficial; **Ia** – abstração inicial; **Ssi** – capacidade de armazenamento de água do solo; **λ_{si}** – índice de Ia/Ssi; **CNsi** – valor CN; **Sp-q** – capacidade de armazenamento de água do solo com Ia=0,2; **λ_{p-q}** – índice de Ia/Sp-q; **CNp-q** – valor CN; **S λ** – capacidade de armazenamento de água do solo com relação ao **λ_{si}** ;

O volume de escoamento superficial da simulação do período vegetativo (primavera-verão) variou de 15,21 mm a 24,25 mm e apresentou uma média de 21,49 mm. Devido esta simulação ser realizada em um tempo de 60 minutos, verificou-se um volume de escoamento superficial superior a todas as outras simulações anteriores no uso da terra Cerrado. A capacidade de armazenamento de água do simulador de chuva variou de Ssi=42,26 mm a Ssi=51,30 mm, e média de 45,02 mm, com armazenamento de água do solo superior a todas as outras simulações anteriores. Conseqüentemente, os valores CNsi foram os menores valores CNsi de todas as outras simulações anteriores realizadas no uso da terra Cerrado, oscilando de 83 a 86, e média de 85.

Os valores CNsi dessa primeira simulação do período vegetativo foram próximos aos valores CNtb – AMC - III, que é igual a 82. Se analisarmos os valores CNsi de todas as simulações de ambos os períodos, verifica-se a influência do volume de precipitação nos valores CN, ou seja, quanto maior o volume de precipitação menores serão os valores CN. A capacidade de armazenamento de água do solo com Ia=0,2·S foi superior à capacidade de armazenamento de água do simulador de chuva e oscilou de 64,75 mm a 97,90 mm e a média entre as calhas foi de 74,53 mm. Devido a esse armazenamento ser superior ao armazenamento de água do simulador de chuva, foram observados menores valores CN, variando de 72 a 80 com média de 77.

O índice de abstração inicial de Sp-q variou de 0,01 a 0,03 e média de 0,02, inferior ao estipulado pelo NRCS ($\lambda=0,2$). Utilizando o índice de abstração inicial do simulador de chuva para a obtenção de uma nova capacidade de armazenamento de água do solo, esta variou de 104,19 mm a 184,95 mm e uma média de 126,02 mm. Devido ao índice de abstração inicial do simulador de chuva ser baixo, verificou-se uma elevada capacidade de armazenamento de água se comparada às outras capacidades de armazenamento de água do solo para essa simulação.

A média do valor $CN_{si}=85$ foi 47 pontos menor do que o $CN_{tb}=38$ (AMC I) para esta simulação do período da primavera-verão, considerando que essa simulação possui duração de 60 minutos. O elevado escoamento superficial apresentado correlaciona-se com o baixo índice de abstração inicial $\lambda_{si}=0,03$, índice de Ia/S próximos ao sugeridos por Hawkins (2009) e distante do índice original do SCS-CN. Também, este menor índice de abstração inicial ($\lambda_{si}=0,03$) atribui-se a uma maior capacidade de armazenamento de água pelo solo e ao menor volume de abstração inicial (média do volume de Ia=1,36 mm). Os índices de λ_{p-q} foram ainda menores, com média de $\lambda_{p-q}=0,02$, muito inferiores ao adotado pelo SCS-CN e próximos aos apresentados pelas literaturas.

3.4.7 Segunda simulação – primavera-verão

A seguir, apresentam-se os dados da segunda simulação do período da primavera-verão (período de crescimento vegetativo) com duração de 60 minutos, sendo enquadrada na condição antecedente de umidade III, com valor $CN_{tb}=82$. A Tabela 20 destaca os dados do volume de escoamento superficial, do volume de abstração inicial, a capacidade de armazenamento de água do solo, os valores CN e os índices de abstração inicial.

Tabela 20 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – segunda simulação primavera-verão

CALHAS	Q (mm)	Ia (mm)	Ssi (mm)	CNsi	λ_{si}	Sp-q (mm)	λ_{p-q}	CNp-q	Sλ (mm)
CALHA 7A	22,03	2,12	44,48	85	0,05	71,52	0,03	78	109,25
CALHA 7B	33,95	2,12	32,56	89	0,07	41,57	0,05	86	53,90
CALHA 7C	30,52	2,03	35,99	88	0,06	48,79	0,04	84	66,32
CALHA 7D	49,30	1,66	17,21	94	0,10	17,52	0,09	94	20,02
MÉDIA	33,95	1,99	32,56	89	0,07	44,85	0,05	85	62,37

Q – escoamento superficial; **Ia** – abstração inicial; **Ssi** – capacidade de armazenamento de água do solo; **λ_{si}** – índice de Ia/Ssi; **CNsi** – valor CN; **Sp-q** – capacidade de armazenamento de água do solo com Ia=0,2; **λ_{p-q}** – índice de Ia/Sp-q; **CNp-q** – valor CN; **S λ** – capacidade de armazenamento de água do solo com relação ao **λ_{si}** ;

Nesta segunda simulação do período da primavera-verão o escoamento superficial foi superior ao escoamento superficial apresentado na primeira simulação do período no uso da terra Cerrado, variando de 22,03 mm a 49,30 mm e média de 33,95 mm. O volume de abstração inicial foi pouco superior ao identificado na primeira simulação do período da primavera-verão, oscilando de 2,03 mm a 2,12 mm, com média de 1,99 mm.

A capacidade de armazenamento de água do simulador de chuva foi inferior ao escoamento superficial detectado na primeira simulação do período da primavera-verão no uso da terra Cerrado, oscilando de 17,21 mm a 44,48 mm e média de 32,56 mm. Devido ao menor armazenamento de água do solo dessa segunda simulação, se comparada à primeira, foram obtidos maiores valores CN se comparados com a primeira simulação, oscilando de 85 a 94, com média de 89. Os valores CNsi dessa segunda simulação do período de crescimento vegetativo foram maiores do que os valores CNtb – AMC III do uso da terra Cerrado (CNtb=82).

O índice de abstração inicial do simulador de chuva foi superior ao índice obtido na primeira simulação do período vegetativo, devido a uma menor capacidade de armazenamento de água desse período o que leva ao aumento do índice de abstração inicial, que oscilou de 0,05 a 0,10 e média de 0,07, índice inferior ao estipulado originalmente de pelo NRCS ($\lambda=0,2$).

O armazenamento de água com $I_a=0,2 \cdot S$ apresentou considerável variação, de 17,52 mm a 71,52 mm e média de 44,85 mm. Com esta maior capacidade de armazenamento de água do solo, o índice de abstração inicial foi maior do que o índice de abstração inicial do simulador de chuva, variando de 0,03 a 0,09 e média de 0,07 entre as calhas, índices inferiores ao índice do NRCS. Os valores CNp-q variaram de 78 a 94 e a média foi de 85, valor CNp-q médio próximo ao valor CNtb – AMC III (CNtb=82).

A capacidade de armazenamento de água do solo com o índice de abstração inicial do simulador de chuva variou de 20,02 mm a 109,25 mm e a média foi de 62,37 mm, o que teoricamente reduziria os valores CN obtidos com esta capacidade de armazenamento de água do solo. No geral observou-se nesta segunda simulação maiores valores CN se comparados à primeira simulação nesse período deste uso da terra Cerrado, e também, maiores índices de abstração inicial da segunda simulação se comparados à primeira simulação do período vegetativo no uso da terra Cerrado.

3.5 Uso da terra – Estrada

O uso Estrada constitui-se de uma Estrada de terra cascalhada com fluxo contínuo de veículos e, com isso, bastante compactada. Na Figura 20, podem ser observados aspectos do instante da realização da simulação no uso da terra Estrada.

Figura 20 – Uso terra Estrada



A – Parcela experimental, as calhas coletoras e os recipientes de armazenamento instalados na Estrada;

B – Simulador instalado na Estrada;

O uso da terra Estrada foi enquadrado nos seguintes aspectos para a obtenção do valor CNtb: uso da terra – *Roads gravel* e grupo hidrológico do solo ‘D’. O valor CNtb para as características mencionados e na condição antecedente de umidade II é igual a 91.

Foram realizadas duas simulações no uso da terra Estrada com uma primeira simulação foi enquadrada na condição antecedente de umidade I, reduzindo o valor CNtb para 80; a segunda simulação nesse uso da terra foi enquadrada na condição antecedente de umidade III, elevando o valor CNtb para 97. As simulações no uso da terra Estrada de cascalho foram realizadas em tempo de 30 minutos.

3.5.1 Primeira simulação - uso da terra Estrada

A Tabela 21 apresenta os dados do volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial, as capacidades de armazenamento de água do solo, os valores CN’s e os índices de abstração inicial para simulação realizada no uso da terra Estrada.

Tabela 21 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – primeira simulação uso da terra Estrada

CALHAS	Q (mm)	Ia (mm)	Ssi (mm)	CNsi	λ_{si}	Sp-q (mm)	λ_{p-q}	CNp-q	S λ (mm)
CALHA 1A	15,64	1,85	17,62	94	0,10	23,56	0,08	92	28,35
CALHA 1B	32,81	1,85	0,45	100	4,13	0,38	4,91	100	0,09
CALHA 1C	17,23	1,85	16,03	94	0,12	20,29	0,09	93	23,59
CALHA 1D	15,00	1,85	18,26	93	0,10	24,98	0,07	91	30,51
MÉDIA	20,17	1,85	13,09	95	1,11	17,30	1,29	94	20,63

Q – escoamento superficial; Ia – abstração inicial; Ssi – capacidade de armazenamento de água do solo; λ_{si} – índice de Ia/Ssi; CNsi – valor CN; Sp-q – capacidade de armazenamento de água do solo com Ia=0,2; λ_{p-q} – índice de Ia/Sp-q; CNp-q – valor CN; S λ – capacidade de armazenamento de água do solo com relação ao λ_{si} ;

Como mencionado, as simulações no uso da terra Estrada foram realizadas em um período de 30 minutos e, com isso, o volume de escoamento superficial para a primeira variou de 15 mm a 32,81 mm e uma média de 20,17 mm e o volume de abstração inicial foi de 1,85 mm. Observa-se grande variação no volume de escoamento superficial entre as calhas nessa primeira simulação no uso da terra Estrada, portanto, uma grande variação nas capacidades de armazenamento de água do solo entre as calhas nesta simulação.

A capacidade de armazenamento de água do solo do simulador de chuva variou de 0,45 mm a 18,26 mm e média de 13,09 mm. A calha 1B apresentou a menor capacidade de armazenamento de água do solo do simulador de chuva e a calha 1D a maior capacidade de armazenamento de água do solo. Com o armazenamento de água do solo do simulador de chuva obtém-se um valor CNsi que variou de 93 a 100, e valor CNsi médio de 95.

Conforme mencionado anteriormente, esta simulação foi enquadrada na condição antecedente de umidade I, com valor CNtb=80, valor CNtb distante do valor CNsi apresentado em todas as calhas nesta simulação, indicando o alto poder de produzir escoamento superficial neste tipo de uso da terra, mesmo a simulação sendo realizada na condição antecedente de umidade I e no período de repouso vegetativo (período do outono-inverno). Os valores CNsi foram próximos ao valor CNtb – AMC III (CNtb=97).

Observe que estes valores CN_{si} evidenciam a grande capacidade de Estrada de cascalhos em produzir escoamento superficial e dificultar a infiltração. Devido à calha 1B apresentar elevado volume de escoamento superficial, verificou-se, nela, uma baixa capacidade de armazenamento de água do solo, que, por sua vez, correlacionada com o volume de abstração inicial apresentou um elevado índice de abstração inicial.

Observe que o volume de abstração inicial ($I_a=1,85$ mm) foi maior do que a capacidade de armazenamento de água do simulador de chuva da calha 1B ($S_{si}=0,45$ mm), produzindo conseqüentemente, um elevadíssimo índice de abstração inicial do simulador de chuva ($\lambda_{si}=4,13$). Os índices de abstração inicial da simulação no uso da terra Estrada, variaram de 0,10 a 4,13, e a média foi de 1,11. Observe-se a considerável variação nos índices de abstração inicial do simulador de chuva devido à grande variação no volume de escoamento superficial, e por via na capacidade de armazenamento de água do simulador de chuva.

A capacidade de armazenamento de água $Sp-q$ foi maior do que a capacidade de armazenamento de água do simulador de chuva, variando de 0,38 mm a 24,98 mm, e média de 17,30 mm. Com esta maior capacidade de armazenamento de água do solo, obtém-se menores valores CN_{p-q} , no entanto, variando de 91 a 100, valores CN próximo aos valores $CN_{tb} - AMC III$ ($CN_{tb}=97$) e distantes dos valores $CN_{tb} - AMC I$ ($CN_{tb}=80$).

Com a capacidade de armazenamento de água do solo $Sp-q$, os índices de abstração inicial variaram de 0,07 a 4,91, com média de 1,29, média muito superior àquela estipulada pelo NRCS. Utilizando-se o índice de abstração inicial do simulador de chuva para a obtenção de uma nova capacidade de armazenamento de água do solo, o armazenamento de água do solo variou de 0,09 mm a 30,51 mm, e média de 20,63mm.

Observe que esta capacidade de armazenamento de água do solo foi superior às outras capacidades de armazenamento de água do solo obtidos nesta simulação, o que produziria menores valores CN , que teoricamente variariam de 89 a 100. Mesmo assim, essa nova

capacidade de armazenamento de água do solo estaria próxima ao valor CN_{tb} – AMC III (CN_{tb}=97).

3.5.2 Segunda simulação - uso da terra Estrada

Na Tabela 22 apresentam-se os dados do volume de escoamento superficial, o volume de abstração inicial, a capacidade de armazenamento de água do solo, os valores CN, e os índices de abstração inicial para o uso da terra Estrada da segunda simulação realizada 24 horas após a primeira simulação nos usos da terra Estrada.

Tabela 22 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – segunda simulação uso da terra Estrada

CALHAS	Q (mm)	Ia (mm)	Ssi (mm)	CN _{si}	λ _{si}	Sp-q (mm)	λ _{p-q}	CN _{p-q}	Sλ (mm)
CALHA 2A	20,79	2,00	12,47	95	0,16	14,12	0,14	95	14,95
CALHA 2B	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CALHA 2C	22,86	2,00	10,40	96	0,19	11,11	0,18	96	11,22
CALHA 2D	16,73	2,00	16,53	94	0,12	21,28	0,09	92	24,56
MÉDIA	20,13	2,00	13,13	95	0,16	15,50	0,14	94	16,91

Q – escoamento superficial; Ia – abstração inicial; Ssi – capacidade de armazenamento de água do solo; λ_{si} – índice de Ia/Ssi; CN_{si} – valor CN; Sp-q – capacidade de armazenamento de água do solo com Ia=0,2; λ_{p-q} – índice de Ia/Sp-q; CN_{p-q} – valor CN; Sλ – capacidade de armazenamento de água do solo com relação ao λ_{si};

Observa-se nessa segunda simulação do uso da terra Estrada um maior volume de escoamento superficial se comparado com a primeira simulação. O volume de escoamento superficial variou de 16,73 mm a 35,55 mm, e média de 23,98 mm, e o volume de abstração inicial foi próximo ao volume de abstração inicial coletado na primeira simulação.

Comparando-se o escoamento superficial da primeira simulação com o escoamento superficial da segunda simulação, observa-se que na segunda simulação obtém-se maior escoamento superficial e, conseqüentemente, menor capacidade de armazenamento de água do simulador de chuva, o que pode ser atribuído à saturação do solo com a primeira simulação. Os

valores CNsi na segunda simulação variaram de 94 a 100, e média de 95, valores CNsi próximos aos valores CNtb na condição antecedente de umidade III.

O índice de abstração inicial com a capacidade de armazenamento de água com $I_a=0,2 \cdot S$ variou de $\lambda=0,09$ a $\lambda=0,18$ média de $\lambda=0,14$, média e valor superior próximo aos $\lambda=0,2$ estipulados oficialmente. A média da capacidade de armazenamento de água do solo com o índice de abstração inicial do simulador de chuva foi superior a 'Sp-q', variando de 11,22 mm a 24,56 mm.

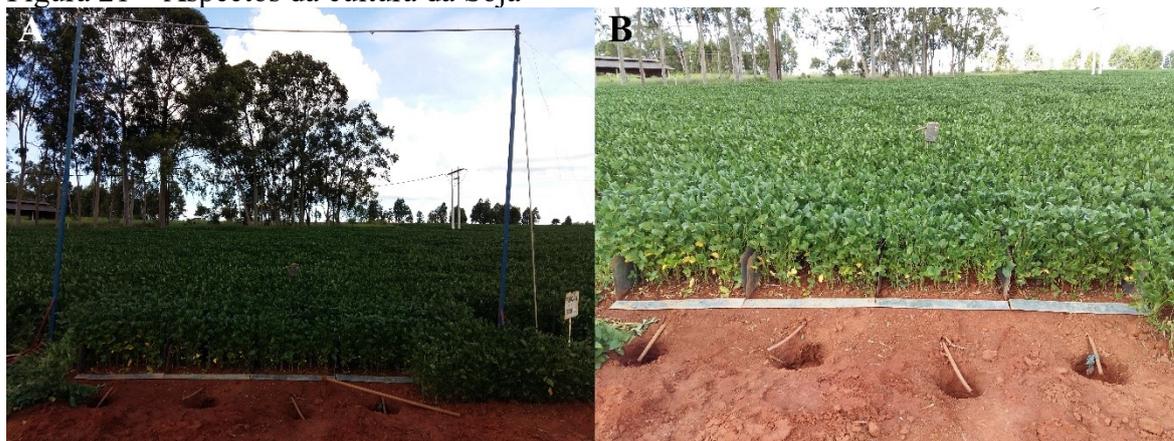
No geral, os elevados valores CN são atribuídos ao pequeno volume de precipitação e ao elevado escoamento superficial, característico de áreas muito compactadas como no caso de Estradas. A simulação 1 encontra-se na condição antecedente de umidade I (CNtb=80), entretanto, a simulação 2 encontra-se na condição de umidade III (úmido) e, portanto, com um CNtb=97.

A diferença entre valor CNsi médio da simulação 1 e o CNtb (AMC I) é de 15 pontos e o valor CNsi da simulação 2 e o valor CNtb na condição antecedente de umidade III são iguais. Em suma áreas impermeáveis como Estradas terra de superfície dura apresentam elevados valores CN independentemente da condição antecedente de umidade do solo.

3.6 Uso da terra – Soja

Na Figura 21 observa-se o simulador de chuva e as parcelas experimentais instaladas na cultura da Soja.

Figura 21 – Aspectos da cultura da Soja



A – Visualização do simulador de chuva instalado na cultura da Soja;

B – parcelas experimentais instaladas na cultura da Soja;

Fonte: Confessor (2017);

A área da cultura da Soja caracterizou-se como: uso da terra - *row crops* - (cultura temporárias como Soja e Milho, plantadas em fileiras distantes onde na maior parte tempo a superfície do solo fica exposta ao impacto da chuva durante o período de crescimento da cultura); superfície *straight row* (campos cultivados em linhas retas com declividade inferiores a 2%) e *crop residue cover* (palhada) e com boa condição hidrológica (como mencionado no item 4.3, a condição hidrológica é baseada em fatores que afetam o escoamento superficial e a infiltração, como: a densidade de cobertura vegetal, quantidade de cobertura durante todo o ano, quantidade de grama ou leguminosas fechadas e a porcentagem de cobertura de palhada) (USDA-NRCS, 2002, 2004b).

A área foi enquadrada no grupo hidrológico do solo ‘D’, com mais de 40% de argila e menor de 50% de areia (USDA-NRCS, 2009). Com essas características, o valor CN_{tb} para a cultura da Soja na condição antecedente de umidade II foi de 81; na condição antecedente de umidade I este valor CN_{tb} reduz-se para 64; e na condição antecedente de umidade III este valor CN_{tb} eleva-se para 92.

3.6.1 Primeira simulação – cultura da Soja

Na Tabela 23 verificam-se os dados do volume de escoamento superficial, do volume de abstração inicial, a capacidade de armazenamento de água do solo, os valores CN e os índices de abstração inicial para duas simulações feitas no uso da terra Soja. A simulação no uso da terra Soja foi realizada com planta com 45 dias de plantio e boa cobertura vegetal, o que, de certa forma, explica o baixo escoamento superficial que produz em áreas com cobertura de Soja com 45 dias de plantio se comparados aos outros usos da terra analisados.

Essa primeira simulação no uso da terra Soja foi enquadrada na condição antecedente de umidade III, período de crescimento vegetativo (período primavera-verão), apresentando um valor CN_{tb}=92.

Tabela 23 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – primeira simulação uso da terra Soja

CALHAS	Q (mm)	Ia (mm)	Ssi (mm)	CN _{si}	λ_{si}	Sp-q (mm)	λ_{p-q}	CN _{p-q}	S λ (mm)
CALHA 1A	1,64	13,58	64,87	80	0,21	231,05	0,06	52	222,49
CALHA 1B	0,42	30,49	66,09	79	0,46	277,53	0,11	48	127,86
CALHA 1C	1,22	24,50	65,29	80	0,38	243,32	0,10	51	140,69
CALHA 1D	0,59	25,72	65,92	79	0,39	268,18	0,10	49	145,94
MÉDIA	0,97	23,57	65,55	79	0,36	255,02	0,09	50	159,24

Q – escoamento superficial; Ia – abstração inicial; Ssi – capacidade de armazenamento de água do solo; λ_{si} – índice de Ia/Ssi; CN_{si} – valor CN; Sp-q – capacidade de armazenamento de água do solo com Ia=0,2; λ_{p-q} – índice de Ia/Sp-q; CN_{p-q} – valor CN; S λ - capacidade de armazenamento de água do solo com relação ao λ_{si} ;

O volume de escoamento superficial variou de 0,42 mm a 1,64 mm com média de 0,97 mm, próxima das médias de escoamento superficial para o uso da terra Café (primeira simulação). O baixo escoamento superficial na primeira simulação do uso da terra Soja correlaciona-se com o elevado volume de abstração inicial, que oscilou de 13,58 mm a 30,49 mm, e média de 23,57 mm. Esse volume de abstração inicial foi o maior entre todos os usos da terra analisados na pesquisa e, também, um dos menores volumes de escoamento superficial

entre todos usos da terra analisados na pesquisa, comprovando que nesse estágio de desenvolvimento da cultura da Soja, a mesma possui uma elevada capacidade em reter as águas das chuvas (induzir a abstração inicial, e por via, a infiltração) e reduzir o escoamento superficial.

Os índices de abstração inicial obtidos correlacionando o volume de abstração inicial com a capacidade de armazenamento de água do simulador de chuva oscilou de $\lambda_{si}=0,21$ a $0,46$, média de $\lambda_{si}=0,36$, valores iguais ou superiores aos $I_a=0,2 \cdot S$ estipulado pelo método SCS-CN. Esses índices de abstração inicial podem ser correlacionados ao baixo volume de escoamento superficial detectado nesta simulação no uso da terra Soja.

O baixo volume de escoamento superficial propiciou um elevado armazenamento de água do solo do simulador de chuva, que variou de $64,87$ mm a $66,09$ mm, e uma média de $65,55$ mm. Com estas capacidade de armazenamento de água do solo do simulador de chuva, os valores CN_{si} apresentaram pequena variação de 79 a 80 e média de 79 , valores CN_{si} próximos ao valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade II ($CN_{tb}=81$) e distantes do valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade III ($CN_{tb}=92$).

A capacidade de armazenamento de água do solo com $I_a=0,2 \cdot S$ foi superior ao armazenamento do simulador de chuva, de $231,05$ mm a $277,53$ mm e média de $255,02$ mm, e os valor CN_{p-q} de 48 a 52 e média de 50 , valores CN_{p-q} em média 29 pontos menores do que o valor CN_{si} e, também, valores CN_{p-q} inferiores ao valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade I ($CN_{tb}=64$), dado que demonstra a elevada capacidade da cultura da Soja nesse estágio de desenvolvimento da cultura em retardar o escoamento superficial e induzir a infiltração.

A capacidade de armazenamento de água do solo obtida com índice de abstração inicial do simulador de chuva foi inferior a S_{p-q} , oscilando de $127,86$ mm a $222,49$ mm, e média de $159,24$ mm. Este menor armazenamento de água se comparado a S_{p-q} , atribui-se ao maior índice de abstração inicial do simulador de chuva (média de $\lambda_{si}=0,36$) do que o $\lambda=0,2$. Os

valores CN obtidos a partir de $S\lambda$ teoricamente seriam de 53 a 67, valores CN próximos ao valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade I ($CN_{tb}=64$).

3.6.2 Segunda simulação – cultura da Soja

A Tabela 24 apresenta os dados do volume de escoamento superficial, do volume de abstração inicial, a capacidade de armazenamento de água do solo, os valores CN e os índices de abstração inicial para segunda simulações feita no uso da terra Soja.

Tabela 24 – Volume de escoamento superficial, volume de abstração inicial e capacidade de armazenamento de água, valores CN e índices de abstração inicial – segunda simulação uso da terra Soja

CALHAS	Q (mm)	Ia (mm)	Ssi (mm)	CNsi	λ_{si}	Sp-q (mm)	λ_{p-q}	CNp-q	$S\lambda$ (mm)
CALHA 2A	0,96	18,01	65,55	79	0,27	252,31	0,07	50	190,99
CALHA 2B	1,14	17,00	65,38	80	0,26	246,02	0,07	51	196,13
CALHA 2C	0,56	19,03	65,96	79	0,29	269,96	0,07	48	193,63
CALHA 2D	0,35	19,49	66,16	79	0,29	281,88	0,07	47	196,90
MÉDIA	0,75	18,38	65,76	79	0,28	262,54	0,07	49	194,41

Q – escoamento superficial; Ia – abstração inicial; Ssi – capacidade de armazenamento de água do solo; λ_{si} – índice de Ia/Ssi; CNsi – valor CN; Sp-q – capacidade de armazenamento de água do solo com Ia=0,2; λ_{p-q} – índice de Ia/Sp-q; CNp-q – valor CN; $S\lambda$ - capacidade de armazenamento de água do solo com relação ao λ_{si} ;

Nesta segunda simulação para o uso da terra soja, obteve-se, em média, um menor volume de escoamento superficial, entretanto, próximo à média apresentada na primeira simulação na cultura da Soja, variando de 0,35 mm a 1,14 mm e média de 0,75 mm. O volume de abstração inicial foi menor do que o volume de abstração inicial da primeira simulação, variando de 17 mm a 19,49 mm e média de 18,38 mm, contra uma média do volume de abstração inicial da primeira simulação de 23,57 mm. Obviamente, em função de uma maior umidade e saturação do solo no instante da segunda simulação tem-se uma menor abstração inicial, mesmo com o volume de escoamento superficial sendo próximo ao volume detectado na primeira simulação.

Os volumes da capacidade de armazenamento de água do solo do simulador de chuva da segunda simulação foram próximos aos valores apresentados na primeira simulação na cultura da Soja, e conseqüentemente, os valores CN variaram, também, de 79 a 80 e média de 79, a mesma média do valor CN_{si} da primeira simulação. Os índices de abstração inicial do simulador da segunda simulação foram menores do que os mesmos índices apresentados na primeira simulação, variando de $\lambda_{si}=0,26$ a $\lambda_{si}=0,29$, e média de $\lambda_{si}=0,28$.

O armazenamento de água do solo com $I_a=0,2 \cdot S$ variou de 246,02 mm a 281,88 mm e média de 262,54 mm, volume este pouco maior do que o volume deste armazenamento para a primeira simulação na cultura da Soja. Os índices de abstração inicial com S_p-q foi 0,07 para todas as calhas.

A capacidade de armazenamento de água do solo com o índice de abstração inicial do simulador de chuva variou de 190,99 mm a 196,90 mm, e média de 191,41 mm. Observe que devido ao volume de escoamento superficial da primeira e da segunda simulação serem próximos, todos os outros dados derivados foram semelhantes, para isto, com os valores CN_{si} e CN_{p-q} das duas simulações. Entretanto os índices abstração inicial apresentaram ligeira diferença, o que refletiu na capacidade de armazenamento de água obtida com o índice de abstração inicial do simulador de chuva.

CAPÍTULO 4 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS COM O SIMULADOR DE CHUVA

Elhakeem e Papanicolaou (2003), determinaram valores CN para grupos hidrológicos do solo no estado de Iowa (EUA) com a utilização de chuva simulada. Destaca-se a praticidade da utilização de chuvas simuladas que elimina a necessidade de utilização de chuvas naturais, frisando a possibilidade de controle da intensidade da precipitação durante o experimento. O experimento teve duração de 3 horas, iniciando com baixa intensidade em um tempo de 1 hora e 20 minutos, aumento da intensidade a partir de então até os próximos 45 minutos e nas últimas 1 hora e 35 minutos redução da intensidade da precipitação, sendo coletado o escoamento superficial durante o experimento.

No experimento com o simulador de chuva na bacia hidrográfica do Glória, as simulações tiveram duração de 10, 20, 30 e 60 minutos, sendo que em alguns usos tiveram duração de apenas 60 minutos, e com intervalo de 15 a 30 minutos entre as simulações para cessar o fluxo de água nas parcelas experimentais. A intensidade da chuva foi de 66,5 mm/h e, no geral, observou-se que quanto menor a duração da simulação menor foram as capacidades de armazenamento de água do simulador de chuva e, conseqüentemente, maiores foram os valores CN.

Elhakeem e Papanicolaou (2003), realizaram o experimento no verão e no outono obtendo dados da capacidade de armazenamento de água do solo, valores CN e da abstração inicial em diversos municípios do estado de Iowa (EUA) e nas duas estações do ano. A capacidade de armazenamento de água do solo e a abstração inicial foram obtidos a partir do emprego de regressão não-linear, utilizando apenas dados de precipitação e de escoamento superficial obtidos nas parcelas experimentais com a utilização de chuvas simuladas.

De acordo com Elhakeem e Papanicolaou (2003), os valores CN foram menores no outono se comparados aos obtidos no verão, fato atribuído à cobertura nas parcelas, como a

maior quantidade de resíduos que controla o escoamento superficial no período do outono se comparado ao verão. Foi observada uma maior umidade do solo no outono do que no verão, fato atribuído à menor temperatura e maior cobertura do solo no outono do que no verão, o que reduz a evaporação. No experimento na bacia hidrográfica do Glória, os valores CNsi (valor CN a partir da capacidade de armazenamento de água do simulador de chuva) do uso da terra Cerrado, em média, foram maiores no período do outono-inverno (média de CNsi=95) que no período da primavera-verão (média de CNsi=87). No período do outono-inverno os valores CNsi oscilaram de 89 a 98 e na primavera-verão variaram de 83 a 94, evidenciando a maior capacidade de armazenamento de água do solo no período da primavera-verão. Os valores CNp-q apresentaram média de 89 no outono-inverno e de 81 na primavera-verão.

Os menores valores CN do período da primavera-verão do uso da terra Cerrado foi atribuído ao maior volume de precipitação do período se comparados ao período do outono-inverno, pois, no período do outono-inverno os tempos de simulação foram de 10, 20 e 30 minutos, e no período da primavera-verão as simulações tiveram duração de 60 minutos, ou seja, quanto maior o volume de precipitação menores são os valores CN. Neste mesmo sentido, a média do valor CNsi do período do outono-inverno para o uso da terra Café foi de 89 e no período da primavera-verão foi de 80, e no período do outono-inverno as simulações tiveram duração de 30 minutos e no período da primavera-verão as simulações tiveram duração de 60 minutos, o que influenciou consideravelmente nos valores CN.

No uso da terra Braquiária, no período do outono-inverno as simulações duraram 30 minutos e na primavera-verão tiveram duração de 60 minutos, o que impactou nos valores CN; na primavera-verão a média do valor CNsi foi de 80 e no outono-inverno a média foi de 89. Comparando as simulações no uso da terra Cerrado com 10, 20, 30 e 60 minutos, obteve-se nas simulações com 10 minutos no período do outono-inverno média de CNsi entre as calhas de 96 e 97 em duas simulações seguidas uma da outra. Já em outras duas simulações seguidas com

um tempo de 20 minutos, obteve-se média dos valores CNsi de 94 e 95, e em uma simulação de 30 minutos, obteve-se valor CNsi médio entre as calhas de 92 e em duas outras simulações no período da primavera-verão, obteve-se média de CNsi de 85 e 89. Portanto, nesses casos, atribuíram a redução dos valores CNsi a partir de um maior ao volume de precipitação.

No uso da terra Café foram feitas simulações com 30 minutos (outono-inverno) e 60 minutos (primavera-verão), onde nas simulações com 30 minutos o valor CNsi apresentou média de 89, e nas simulações com 60 minutos apresentou valor CNsi de 80, mesmo sendo observado no período da primavera-verão um escoamento superficial maior do que no período do outono-inverno, ficando evidente nos casos citados anteriormente a influência do tempo de simulação nos valores CNsi e mesmo no valor CNp-q.

De acordo com Elhakeem e Papanicolaou (2003), a abstração inicial (Ia) aumentou à medida que houve aumento da capacidade de armazenamento de água do solo (S), e a abstração inicial aumenta à medida que há redução da umidade do solo (dados do tensiômetro). Esses resultados corroboram a teoria da abstração inicial. Observou-se, ainda, que quanto maiores os valores CN menor foi a condutividade hidráulica saturada e vice-versa, e a abstração inicial não foi proporcional à capacidade de armazenamento de água do solo. Em alguns usos da terra, verificou-se que à medida que uma redução do volume de abstração inicial era observada, maiores foram as capacidades de armazenamento de água do solo.

Um simples valor CN pode não indicar as características da bacia hidrográfica devido à variação na textura do solo, variações na declividade, umidade, usos da terra e cobertura do solo. Mas, segundo West et al. (2008) citado por Elhakeem; Papanicolaou (2003), em uma escala de campo, os valores CN podem ser representativos das características do campo, pois, no campo podem haver pequenas variações no fatores citados anteriormente, desde que as parcelas experimentais tenham características semelhantes às do campo (textura do solo,

declividade, umidade, uso da terra e cobertura do solo). Concluem, que os valores CN são inversamente proporcionais à condutividade hidráulica saturada.

Elhakeem e Papanicolaou (2003), concluem que os dados obtidos em campo (parcelas experimentais) de bacias hidrográficas podem compor outros dados para representar uma determinada bacia hidrográfica. Pesquisa conduzida no semiárido sudoeste dos EUA, na Bacia Hidrográfica Experimental do Walnut Gulch (Arizona), produziu valores CN por meio de três diferentes formas: Método I (*table and graph method*) – os valores CN são selecionados nas tabelas do NEH-4; Método II (*graphical method*) – a partir dos dados de precipitação e de escoamento superficial obtidos nas parcelas selecionou-se valores CN nos gráficos do NEH-4; Método III (*mathematical method*). Os métodos I e II são as formas de emprego do método CN pelo SCS-CN e o método III produz valores CN mediante dados de precipitação e de escoamento superficial com o emprego do método dos mínimos quadrados (*least square*). O estudo foi conduzido em pequenas parcelas experimentais de 6 por 12 pés (1,83 m x 3,66 m) distribuídas nos diversos usos da terra e com aplicação de práticas de manejo, e em pequenas bacias hidrográficas ‘naturais’. Foram estudadas 5 áreas: Kendall *plots*; Tu-8 *plots*; Lucky Hills; Tu-9 *plots* e Lamb's Draw *plots* (SIMANTON; RENARD; SUTTER, 1973).

Em Kendall, eram 10 parcelas cobertas por gramíneas com 20% de cobertura vegetativa e pastoreio moderado foi classificado como *fair rangeland* (pastagem boa), e essas parcelas incluíram-se no grupo hidrológico do solo ‘B’ (solos profundos, coloração escura, bem drenados, presença de cascalho, textura grosseira e profundidade moderada) com 8-15% de declividade. Destas 10 parcelas, 4 sofrem pastoreio e as outras 6 são preservadas, no entanto, salientam que não há diferenças consideráveis entre as parcelas que são pastoreadas e as que não são pastoreadas. Em Lucky Hills, são outras 10 parcelas com cobertura de arbustos, e a cobertura vegetal é de 30% a 40%, classificadas como *poor rangeland* (pastagens ruins), e

foram classificadas como pertencentes ao grupo hidrológico do solo C (solos profundos, bem drenados, textura média e presença de aluviões de calcário) com 3% a 8% de declividade.

Conforme Simanton et al. (1973), no sítio de Tu-9 eram 12 parcelas que possuíam 40% de cobertura vegetal e classificadas como pastagem ruins, e com práticas de manejos em algumas parcelas. Outras parcelas não sofreram manejo nenhum (não houve pastoreio). As parcelas estão em áreas de 3% a 8% de declividade e inseriram-se no grupo hidrológico do solo B (solos profundos, bem drenados, textura de cascalho média a grosseira em aluviões de calcário). Em Lamb's Draw, as parcelas foram classificadas como pastagens ruins com o emprego de práticas de manejo (tratamento) em algumas parcelas, e outras parcelas serviram para o controle do experimento. O manejo consistiu em 4 parcelas caracterizadas como em curva de nível, outras 4 parcelas em pastagem cultivada (arada e semeada) e o restante para o controle. O solo foi classificado como profundo e bem drenado semelhante ao solo das parcelas de Tu-9 com cobertura média de vegetação de 45% com 3% a 8% de declividade .

A precipitação total foi determinada por meio de pluviógrafos localizados próximos às parcelas experimentais, e o escoamento superficial produzido pelas parcelas foi captado e armazenado em galões. De acordo com Simanton et al. (1973), valores CN selecionados nas tabelas do NEH-4 determinam menores volumes de escoamento superficial do que os realmente verificados em algumas bacias hidrográficas dos oeste dos EUA, visto que o método SCS-CN teve sua grande base em dados produzidos na região leste. A porcentagem de cobertura vegetal interfere no valor CN, ou seja, quanto maior a porcentagem de cobertura vegetal menor será o valor CN.

Concluíram com os experimentos que os valores CN obtidos a partir de dados de precipitação e de escoamento superficial em parcelas experimentais podem ser mais altos que os valores CN que são selecionados nas tabelas do NEH-4. Esse fato foi atribuído à falta de rugosidades das parcelas se comparado ao relevo de uma bacia hidrográfica, rugosidade essa

responsável por ‘abstrações’ da precipitação e, conseqüentemente, redução do escoamento superficial. Valores CN obtidos em áreas maiores do que parcelas experimentais, mas, com complexos de cobertura do solo semelhantes apresentam menores valores CN do que em parcelas experimentais. Esses altos valores CN verificados nas parcelas experimentais podem ser atribuídos a elevado volume de precipitação e ao conseqüente volume de escoamento superficial que são produzidos a partir de uma chuva natural em uma parcela experimental, principalmente em regiões como no estado do Arizona (SIMANTON; RENARD; SUTTER, 1973).

Observou-se nos experimentos a interferência da vegetação nos valores CN, visto que os valores CN_{si} nas parcelas da Braquiária e do Café foram inferiores aos valores CN_{si} no uso Estrada. Ainda se nota o menor valor CN_{si} na Braquiária ou no Café do que no Cerrado, evidenciando a possível interferência da cobertura vegetal nos valores CN derivados. De acordo com Simanton et al. (1973), na produção de valores CN em bacias hidrográficas semelhantes às encontradas na região sudeste do Arizona, alguns fatores são fundamentais como a intensidade da chuva, o complexo solo-cobertura vegetal e a condição antecedente de umidade.

No entanto, salienta que a condição antecedente de umidade do definido pelo NEH-4 (AMC) são insuficientes para representar todas as condições de umidade que podem ser encontradas no sudeste semiárido do Arizona, situação semelhantes às que poderiam ser encontradas no nordeste brasileiro. Recomenda a criação de mais ou outras classes para representar a condição antecedente de umidade. Atualmente o NRCS transformou a condição antecedente de umidade em condição antecedente de escoamento superficial (ARC).

A importância da condição antecedente de umidade pode ser relevante na determinação do valor CN se considerar que nos usos e ocupação da terra experimentados na Bacia do Glória, apresentaram valores CN_{si}, e principalmente, valores CN_{p-q} distintos quando o prazo para a realização das simulações eram menos de duas horas, como verificado no caso do Milho para

as valores CN_{si} , CN_{p-q} e para o valor CN_{λ} nas simulações do mesmo dia. No Cerrado também podem ser vistas distinções dos valores CN obtidos com as simulações em intervalos de menos de duas horas, apesar de que menor do que a diferença dos valores CN encontrados no uso da terra Milho.

Conforme Lal et al. (2016), pesquisa conduzida no território indiano produziu valores CN para diversos usos da terra agrícola, como cana-de-açúcar, Milho, feijão e áreas em pousio por meio da utilização de parcelas experimentais de 22 m x 5 m. Os usos da terra analisados nas parcelas experimentais não apresentaram diferenças significativas nos valores CN, com exceção de alguns usos que apresentaram menores valores CN do que a cana-de-açúcar, como parcela com o feijão e a parcela em pousio.

Nas simulações de 30 minutos, observou-se uma variação do valor CN_{si} da Braquiária para o Cerrado e a Estrada. Entre esses usos e para as simulações de 30 minutos, houve uma maior oscilação no valor CN_{p-q} . A média entre as calhas na simulação do outono-inverno nas simulações de 30 minutos foram: Braquiária $CN_{si}=89$; Café $CN_{si}=89$; Cerrado $CN_{si}=92$; Estrada $CN_{si}=96$. Na Braquiária o valor CN_{si} foi próximo ao valor $CN_{tb-AMC III}$ ($CN_{tb}=91$), no Café o valor CN_{si} foi próximo ao valor $CN_{tb-AMC III}$ ($CN_{tb}=86$), no Cerrado o valor CN_{si} foi próximo ao valor $CN_{tb-AMC III}$ ($CN_{tb}=82$) e na Estrada o valor CN_{si} foi próximo ao valor $CN_{tb-AMC III}$ ($CN_{tb}=97$). Observe a interferência do volume de precipitação no valor CN_{si} e que, os valores CN derivados de dados de precipitação e de escoamento superficial são maiores do que os valores CN obtidos nas tabelas do NRCS.

Nas simulações de 60 minutos na Braquiária, no Cerrado, no Café e na Soja, foram observados os seguintes valores CN_{si} médios: Soja $CN_{si}=79$; Café $CN_{si}=80$; Cerrado $CN_{si}=87$; Braquiária $CN_{si}=80$. Da mesma forma que nas simulações de 30 minutos, nas simulações de 60 minutos observou-se a força da Soja, da Braquiária e do Café em reter o escoamento superficial, fato verificado nos valores CN_{si} . No entanto, devido à heterogeneidade

do Cerrado e à estrutura vegetal variável, foram observados maiores valores CNsi do que os outros usos com vegetação, que apresentaram valores CNsi variáveis entre as simulações no período do outono-inverno.

Os resultados indicaram pouca interferência da declividade nos valores CN, onde os maiores valores CN do uso Cerrado comparados à Braquiária, Café ou Soja pode-se atribuir parcialmente a declividade, no entanto, as declividades do Café e do Cerrado são próximas. O Milho apresentou diferenças nos valores CN em simulações realizadas em sequência, com um intervalo de 15 a 30 minutos, mas, não apresentou diferenças significativas nos valores CN se comparado a simulações que foram realizadas semanas depois no mesmo uso e ocupação da terra. No uso da terra Café mesmo precipitações realizadas em sequência (no mesmo dia) não apresentaram mudanças significativas nos valores CNsi, mas, precipitação mais volumosas produzem menores valores CN do que precipitações com menor volume, tanto considerando o valor CNsi, CNp-q ou CNλ.

No Cerrado, foram realizadas duas simulações com 10 minutos de duração no outono-inverno, com um intervalo de 15 a 30 minutos entre as simulações, e verificou-se pouca alteração do valor CNsi entre as simulações, e variações dos valores CNp-q e CNλ um pouco maiores do CNsi. Em simulações do Cerrado com 60 minutos de duração no período da primavera-verão, mas com intervalos entre as simulações de mais 24 horas, os valores CNsi variaram 11 pontos se comparadas a todas as parcelas (calhas) das duas simulações, mas, em média, os valores CNsi variaram apenas 2 pontos entre a primeira e a segunda simulação, evidenciando a pequena variação dos valores CN em um prazo maiores de 24 horas sem chuva. Na Soja foram realizadas duas simulações com um intervalo aproximado de 24 horas, e os valores CNsi apresentaram a mesma média entre as duas simulações (CNsi=79). Apenas o valor CNλ apresentou média diferente, mas, mesmo assim, apenas 2 pontos CN de diferença. Na Estrada de cascalho verificou-se a mesma tendência, mas, com médias diferentes entre as

simulações nos valores CNsi (2 pontos CN de diferença), CNp-q (2 pontos CN de diferença) e valor CNλ (3 pontos CN de diferença).

Na pesquisa realizada por Lal et al. (2016), concluíram que os valores CN obtidos foram influenciados pela infiltração, apresentando uma relação inversa entre os valores CN e a infiltração, ou seja, quanto maior a capacidade de infiltração do solo menores foram os valores CN nas parcelas experimentais analisadas. Comparando-se os valores CN selecionados nas tabelas do NEH-4 com os valores CN obtidos a partir de dados de precipitação e de escoamento superficial, verificaram-se maiores valores CN com os dados de precipitação e de escoamento superficial do que os obtidos no NEH-4. Nos dados do Milho obtidos nas parcelas na Bacia do Glória, foram identificados valores CNsi (média entre todas as simulações no Milho CNsi=88) maiores do que os valores CNtb (CNtb=64) na condição antecedente de umidade I, mas, próximos ao CNtb – AMC III (CNtb=92) e pouco distante do CNtb – AMC II (CNtb=81). Essa proximidade do valor CNsi médio do Milho com valor CNtb – AMC III atribui-se ao fato de a área do Milho ser irrigada periodicamente, o que confere elevada umidade ao solo.

No uso da terra pastagem na bacia do Glória, os valores CNsi (CN=80 – média de todas simulações de 60 minutos do período da primavera-verão) obtidos com as simulações de 60 minutos, foram idênticos aos CNtb – AMC II (CNtb=80). Essa proximidade com CN-AMC II - e não ao CNtb – AMC I ou o AMC III – atribui-se ao período da realização do experimento e/ou ao pré-molhamento realizado 24 horas antes das simulações com intervalo de mais 4 horas de realização. No uso da terra Cerrado foram realizadas simulações de 10, 20, 30 e 60 minutos, e em nenhuma delas o valor CNsi foi próximo ao valor CNtb – AMC I ou CNtb – AMC II, e as médias foram próximas ao valor CNtb – AMC III (no geral todas valores CNsi acima do CNtb – AMC III). Esses maiores valores CNsi do que se comparados os valores CNtb, confirmam os resultados encontrados por Lal et al. (2016) de que os valores CN derivados de dados de

precipitação e de escoamento superficial são maiores do que os valores CN obtidos nos manuais do NRCS.

Verificou-se que para o uso da terra Café as simulações de 30 minutos apresentaram média do valor CNsi (89) maior do que o valor CNtb na condição de umidade III (CNtb=86) e o valor CNsi médio (80) para simulações de 60 minutos ficaram entre o CNtb-AMC II (72) e AMC III (86) e distantes da condição antecedente de umidade I (53). O valor CNtb do uso da terra Soja (uso da terra – *row crops*; cobertura e manejo do solo - *contoured and terraced*; condição hidrológica – *good* e grupo hidrológico do solo D) foram: valor CNtb – I= 64; CNtb – II=81 e CNtb – III=92 e o valor CNsi médio foi igual a 79, valor CN próximo ao valor CNtb – II. Comparando os dados das simulações de 30 minutos com as simulações 60 minutos para o mesmo uso da terra, verifica-se o impacto do volume de precipitação na obtenção dos valores CN, e as simulações de 30 minutos forneceram valores CN que apresentam, em média, valores CN até 9 pontos maiores do que as simulações de 60 minutos como no caso do uso da terra Café. Analisando as simulações de 10, 20, 30 e 60 minutos no uso da terra Cerrado verifica-se que houve uma redução gradativa dos valores CNsi das simulações de 10 para as simulações de 60 minutos.

Segundo Lal et al. (2016), o valor CN obtido nas tabelas do NEH-4 foram comparados com os valores obtidos a partir de dados naturais e ordenados de precipitação e de escoamento superficial obtidos nas parcelas experimentais. Os valores CN obtidos no NEH-4 variaram de 58 a 88. Com o método dos mínimos quadrados para os dados naturais os valores CN variaram de 64,73 a 90,33, e para os dados ordenados 67,47 para 90,59. Em suma, os valores CN com dados ‘P-Q’ foram maiores que os valores CN do NEH-4.

Segundo Lal et al. (2016), há um melhor desempenho do Método SCS-CN quando analisados eventos ‘P-Q’ elevados, ou CN elevados. Os valores CN ordenados são maiores do que os valores CN naturais. Indicam a utilização do valor CN ordenado ao invés do CN obtido

nas tabelas do NEH-4 para áreas com características físicas semelhantes as parcelas experimentais.

No artigo apresentado por Elhakeem e Papanicolaou (2009), determinou-se a capacidade de armazenamento de água do solo e a abstração inicial por meio da aplicação da Equação Geral do método SCS-CN com o emprego de análises de regressão. Com o uso de simuladores de chuva, controlando a intensidade e duração da chuva, obteve-se o escoamento superficial e a partir de então determinou-se a capacidade de armazenamento de água do solo e o volume de abstração inicial. Posteriormente, foram determinados valores CN e os índices de abstração inicial para diversas localidades do estado de Iowa (EUA) em áreas de Milho e Soja nas estações do ano verão e outono.

Foram obtidos dados de diversas localidades (condados) do estado de Iowa (EUA) com os quatro grupos hidrológicos do solo representados (Buchanan – HSG ‘A’, Fayette – HSG ‘B’, Pocahontas – HSG ‘B’, Cass – HSG ‘B’, Adams – ‘C’ e Union – HSG ‘D’), e em algumas práticas e manejos do solo nas culturas do Milho e da Soja. Na Tabela 25, apresentam-se os dados da capacidade de armazenamento de água do solo, o volume de abstração inicial, os valores CN e os índices de abstração inicial para as regiões analisadas (ELHAKEEM; PAPANICOLAOU, 2009).

Tabela 25 – Resultado da capacidade de armazenamento de água do solo, da abstração inicial, do valor CN e dos índices de abstração inicial para a cultura do Milho em localidades do estado de Iowa (EUA) nas estações do ano verão e outono

Região	Sítio	STIR	HSG	Verão				Outono			
				S (mm)	Ia (mm)	Ia/S	CN	S (mm)	Ia (mm)	Ia/S	CN
Buchanan	1	II	A	148	21	0.144	63	148	13	0.088	63
	2	II		170	23	0.105	60	767	53	0.069	25
	3	II		257	65	0.251	50	1285	101	0.079	17
Fayette	1	III	B	25	1	0.086	91	178	13	0.096	59
	2	II		64	13	0.196	80	152	7	0.048	63
	3	I		85	20	0.230	75	135	8	0.058	65

Pocahontas	1	I	B	142	33	0.234	64	204	17	0.081	56
Cass	1	I	B	63	7	0.113	80	107	7	0.069	70
	2	III		34	3	0.098	88	51	3	0.055	83
	3	II		71	13	0.178	78	71	5	0.068	78
Adms	2	I	C	45	6	0.141	85	114	9	0.078	69
Union	1	III	D	13	1	0.096	95	82	6	0.069	76
	2	II		48	8	0.166	84	87	5	0.062	75
	3	I		6	1	0.088	98	38	2	0.060	87

STIR – *Soil Tillage Intensity Ratings* (Manejo da cultura) – I plantio direto; II – rotação de cultura; III – cultivo convencional;

HSG – Grupo hidrológico do solo

S – Capacidade de armazenamento de água do solo;

Ia – abstração inicial;

Ia/S – índice de abstração inicial;

CN – Valor CN;

Fonte: Elhakeem e Papanicolaou (2009, adaptado);

De acordo com a Tabela 25, as regiões que apresentam as maiores capacidades de armazenamento de água do solo foram obtidas onde encontram-se os grupos hidrológicos do solo ‘A’ e ‘B’ tanto no verão quanto no outono. A maior capacidade de armazenamento de água se deu na localidade de Buchanan, na cultura do Milho em área de rotação de cultura (*rotational tillage*), com 257 mm, estação do ano verão, o que produziu um valor CN=50. No oposto, tem-se a menor capacidade de armazenamento de água do solo para a estação do ano verão no grupo hidrológico do solo ‘D’, na localidade de Union, cultura do Milho e em área de plantio direto (*long-term no-till*), com armazenamento de água de 6 mm, produzindo um valor CN=98 (ELHAKEEM; PAPANICOLAOU, 2009).

Da mesma forma, observe na Tabela 25 que na estação do ano outono, da mesma forma que no verão, a maior capacidade de armazenamento de água do solo foi obtida no grupo hidrológico do solo ‘A’, localidade de Buchanan, cultura do Milho com rotação de cultura (*rotational tillage*), com armazenamento de 1.285 mm, e um valor CN=17. O menor armazenamento de água do solo da estação outono foi encontrada na localidade de Union (HSG – ‘D’), cultura do Milho em área de plantio direto (*long-term no-till*), com armazenamento de água de 38 mm e valor CN=87 (ELHAKEEM; PAPANICOLAOU, 2009).

A área do experimento com a cultura do Milho na bacia do Glória foi classificada como pertencente ao grupo hidrológico do solo 'D' – mesmo grupo hidrológico do solo que foi enquadrado a localidade de Union (Iowa – EUA), e o experimento na cultura do Milho foi realizado na estação outono-inverno. A média do armazenamento de água do solo do simulador de chuva foi de 35,20 mm (CN=88) em um tempo de 60 minutos, semelhante ao armazenamento de água do solo da localidade de Union (HSG – 'D') na estação do ano outono em áreas de plantio direto, e distante dos dados apresentados por Buchanan (HSG – 'A'), área de Milho com rotação de cultura, tanto na estação do ano outono como na estação do ano verão. Portanto, pode-se atribuir a capacidade de armazenamento de água do solo e os respectivos valores CN encontrados na cultura do Milho na bacia do Glória ao grupo hidrológico do solo.

Prosseguindo, a média do armazenamento de água do solo que considera a $I_a=0,2 \cdot S$ na cultura do Milho na bacia hidrográfica do Glória foi igual a 55,77 mm e o valor CN=83, próximo aos valores apresentados na localidade de Union, cultura do Milho em área de plantio direto e distante dos dados obtidos em todos os sítios da região de Buchanan (Iowa).

O volume de abstração inicial da localidade de Buchanan, cultura do Milho na estação do ano do outono e em área de rotação de cultura, variou de 13 mm a 101 mm (os dados foram obtidos em três sítios em Buchanan), e o índice de abstração inicial do período oscilou de 0,069 a 0,088. No período do verão, para os sítios em Buchanan, o volume de abstração inicial variou de 21 mm a 65 mm, e os índices de abstração inicial variaram de 0,105 a 0,251, e o limite superior do período do verão foi próximo ao estipulado pelo NRCS. O volume de abstração inicial na cultura do Milho variou de 3,40 mm a 18,18 mm, e média de 8,68 mm, e a média do índice de abstração inicial na cultura do Milho na bacia do Glória foi de 0,24 (oscilou de 0,18 a 0,36). O volume de abstração inicial foi dentro do limite dos dados de Buchanan e os índices de abstração inicial foram superiores aos índices de Buchanan na estação do outono.

Os dados de Union apresentaram um volume de abstração inicial para a estação do outono, na cultura do Milho com plantio direto de 2 mm e um índice de abstração inicial de 0,060. Como mencionado anteriormente, na bacia do Glória cultura do Milho, a média do volume de Ia foi igual a 8,68 mm e índice médio da abstração inicial do simulador de chuva foi igual a 0,24, e o índice com Sp-q foi igual a 0,17, valores superiores tanto a Buchanan como também a Union no outono.

O experimento com a cultura da Soja na bacia do Glória foi realizado em área do grupo hidrológico do solo 'D' – cultivo convencional no período da primavera-verão. O experimento com a Soja realizado por Elhakeem e Papanicolaou (2009) no estado de Iowa foi realizado em áreas do grupo hidrológico do solo 'B' (Pocahontas) e 'C' (Adms), e são apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 – Resultado da capacidade de armazenamento de água do solo, da abstração inicial, do valor CN e dos índices de abstração inicial para a cultura da Soja em localidades do estado de Iowa (EUA) nas estações do ano verão e outono

Região	Sítio	STIR	HSG	Verão				Outono			
				S (mm)	Ia (mm)	Ia/S	CN	S (mm)	Ia (mm)	Ia/S	CN
Pocahontas	2	III	B	17	2	0.134	94	52	3	0.060	83
	3	II		61	5	0.082	81	86	5	0.053	75
Adms	1	III	C	67	15	0.225	79	84	5	0.064	75
	3	II		29	3	0.099	90	71	6	0.079	78

STIR – *Soil Tillage Intensity Ratings* (Manejo da cultura) – I plantio direto; II – rotação de cultura; III – cultivo convencional;

HSG – Grupo hidrológico do solo

S – Capacidade de armazenamento de água do solo;

Ia – abstração inicial;

Ia/S – índice de abstração inicial;

CN – Valor CN;

Fonte: Elhakeem e Papanicolaou (2009, adaptado);

Os valores CN para a Soja de Pocahontas para o verão foi de 81 e 94 e em Adms variou de 79 a 90 para os sítios analisados. No outono, observa-se uma redução média dos valores CN tanto em Pocahontas (CN=83; 75) como em Adms (CN=75; 78). A simulação na área de Soja

da Fazenda Experimental do Glória foi realizada no período do verão brasileiro e os valores CN variaram nas calhas de 79 e 80 na primeira simulação e 79 em todas as calhas na segunda simulação, mesmo valor CN encontrado em Adms sítio 1 no outono norte-americano e muito próximo ao valor CN em Adms sítio 3 na estação do outono nos EUA (CN=78).

Em Pocahontas, o experimento foi realizado em áreas de rotação de cultura e em áreas de cultivo convencional, e em Adams também em área de rotação de cultura e de cultivo convencional. Em Adams, que possui grupo hidrológico do solo 'C', em áreas de rotação de cultura no período do outono, o armazenamento de água foi igual a 71 mm (CN=78) e no cultivo convencional foi de 84 mm (CN=75). A simulação na Soja na bacia Glória apresentou uma média de armazenamento de água do solo do simulador de chuva igual a 65,65 mm (CN=79), valor CN próximo ao encontrado em Adms (HSG – 'C').

A capacidade de armazenamento de água do solo da Soja de Pocahontas no verão na rotação de cultura e em Adms no cultivo convencional foram próximas às encontradas no experimento com Soja na bacia hidrográfica do Glória com Ssi (média final Ssi=65,65 mm). No outono, em Pocahontas, a capacidade de armazenamento de água do solo ficou entre 52 mm (cultivo convencional) e 86 mm (rotação de cultura), e em Adms ficou entre 71 mm (rotação de cultura) e 84 mm (cultivo convencional). A capacidade de armazenamento de água do solo com Sp-q foi superior à encontrada por Elhakeem e Papanicolaou (2009), com média de Sp-q=258,78 mm, o que por sua vez produziu baixos índices de abstração inicial.

Para Hawkins et al. (2010), como o Método SCS-CN não possui dimensão temporal, a definição de valores CN a partir de dados de infiltração obtidos em pequenas parcelas experimentais com a utilização de chuvas simuladas controlando-se a intensidade é frágil, pois, os resultados podem ser óbvios quando, por exemplo, se controla-se intensidade da chuva. Os valores CN derivados de pequenas parcelas experimentais dependem muito das intensidades das chuvas simuladas e da duração da chuva. Quando há o aumento da precipitação, o

correspondente valor CN diminui, tanto para chuvas naturais como para chuvas simuladas. Qualquer valor CN poderia ser obtido controlando-se a duração, a intensidade e a profundidade da precipitação simulada.

De acordo com o Hawkins et al. (2010), foram realizadas simulações de chuva em parcelas experimentais sem a aplicação pré-molhamento (*previous rainfall*) e em parcelas com pré-molhamento 12 a 24 horas antes da primeira rodagem de simulações (*wet runs*). As simulações realizadas com a parcela seca foram de valor CN=63 e com a parcela umidade o valor CN=74. Os experimentos foram realizados em parcelas experimentais de 1m² em solos similares com aplicação média de chuva de 3,4 pol./h (86,36 mm/h) até que o escoamento superficial fosse estabilizado. Em condições secas, a estabilização do escoamento superficial retardou mais do que comparado o período úmido, que necessitou de um tempo 30% menor. Conclui-se que controlando a intensidade, a duração e o volume da precipitação qualquer valor CN poderia ser obtido com os testes com o simulador de chuva.

Segundo Hawkins et al. (2010), mesmo com todas as críticas direcionados aos valores CN que podem ser obtidos com os usos do simulador de chuva, pesquisas como as conduzidas por Elhakeem e Papanicolaou (2009), podem contribuir com a problemática na medida em que tem a capacidade de disponibilizar dados que podem ser comparados com os valores CN contidos pelos manuais do NRCS, podendo haver similaridades entre os valores CN. Além dos valores CN, estudos com simuladores de chuva podem ajudar no estudo da abstração inicial e do seu índice.

Banasik e Woodward (2010), determinaram valores CN a partir de dados de precipitação e de escoamento superficial de bacias hidrográficas predominantemente de uso agrícola compostas de solos arenosos do território polonês. Foram determinados os valores CN por meio das tabelas e dos gráficos do NRCS e, também, mediante dados de precipitação (P) e de escoamento superficial (Q), aplicando-se as equações encontradas na literatura. Houve uma

grande variação dos valores CN empíricos (derivados de dados 'P-Q' coletados na área de estudo), desde 59,9 a 97,1, ocorrendo uma tendência de redução dos valores CN com o aumento da precipitação incidente.

De acordo com Banasik e Woodward (2010), no território polonês, a partir de valores CN selecionados nas tabelas do NRCS, obteve-se um valor $CN_{teórico}=74,6$, e o valor $CN_{empírico}=82,1$ – dados de precipitação-escoamento superficial - o valor CN determinados com dados 'P-Q' foram maiores do que os valores CN determinados a partir das tabelas do NRCS. De acordo com Banasik e Woodward (2010), selecionando-se eventos pluviométricos maiores do que 30 mm, houve uma redução do valor $CN_{empírico}=68,3$, menor do que o valor $CN_{teórico}=74,6$. Verificou-se uma variação do valor CN sazonalmente, com a redução do valor CN durante a estação de crescimento da vegetação. O crescimento da vegetação levaria a uma maior retenção de água pelo solo e, conseqüentemente, menor escoamento superficial, reduzindo, portanto, o valor CN.

Analisando-se o uso da terra Braquiária, verificou-se um maior valor CN_{si} médio (dados P-Q) se comparados ao $CN_{tb} - AMC I$, e valor CN_{si} médio próximos ao valor $CN_{tb} - AMC II$ e valores CN_{si} médio menores do que os valores $CN_{tb} - AMC III$. Esse fato pode apresentar que no uso da terra Braquiária na bacia do Glória, mesmo com precipitações anteriores de volume considerável, considerando mais de 24 horas da precipitação anteriores, que a condição antecedente de umidade permanece na AMC II. No entanto, ao se considerar uma pequena diferença temporal na determinação do valor $CN_{empírico}$ (menos de 1 hora), deve-se considerar a alteração da condição de umidade e, conseqüentemente, alterações no valores CN, como pode ser verificado no experimento com a cultura do Milho, que, por exemplo, apresentou valores CN distintos de uma segunda simulação ter sido realizada apenas com o intervalo de 15 a 30 minutos da primeira simulação para cessar o escoamento superficial (variação do valor CN de 83 (primeira simulação) para 90 (segunda simulação) – variação de 7 pontos da primeira

simulação para a segunda). Esse comportamento é evidente nas várias simulações realizadas no Milho. No uso da terra Braquiária foram realizadas simulações com 24 horas de diferença entre as mesmas, mas, não apresentou diferenças significativas nos valores CNsi médio e maior diferença foi verificada no valor CNp-q médio.

Entretanto, analisando o uso da terra Café, verificou-se que mesmo realizando simulações de em intervalos de horas não houve grandes alterações dos valores CN, indicando uma constante nas características hidrológicas que as linhas do Café apresentam. Mas, deve-se considerar que o experimento foi realizado nas linhas do Café com plantas bastante desenvolvidas. Também, pode-se observar uma estabilidade nos valores CNsi médios derivados de simulações com 10 minutos de duração, e, nas simulações com 60 minutos de duração no Cerrado, evidenciando a redução do valor CNsi médio com o aumento do volume de precipitação que no caso coincide com a simulação de maior duração.

Neste sentido, o experimento com a Soja apresentou as menores variações entre as calhas dos valores CN, e, também, houve pequena variação dos valores devido à simulação ter sido realizada com um intervalo aproximado de 24 horas. A simulação na Estrada de cascalho apresenta no primeiro teste uma variação de 7 pontos entre as calhas para o valor CNsi (93 a 100) e na segunda simulação uma variação de 95 a 97.

Ajmal e Kim (2015), investigaram valores CN para 15 bacias hidrográficas sul-coreanas com áreas variando de 48,86 km² a 249,63 km², possuindo em média de 60,36% de áreas florestadas, áreas agrícolas com 25,36%, áreas urbanizadas em regiões áridas 9,44% e áreas de pastagens, solo exposto, corpos d'água e áreas úmidas que juntas representam em torno de 5%. Os solos dominantes nas bacias hidrográficas são constituídos, principalmente, de textura argilosa e argilo-arenoso. Foram aplicadas diversas metodologias para a determinação da capacidade de armazenamento de água do solo, e, portanto, dos valores CN para as bacias

hidrográficas analisadas considerando os dados naturais de precipitação e de escoamento superficial captados na área de estudo.

No Milho, observa-se a partir dos resultados que os valores CN obtidos com os dados do simulador de chuva foram maiores do que os valores CN_{tb} na condição antecedente de umidade I (CN_{tb}=64), e que nas simulações 1A, 2A e 3A foram próximos ao CN_{tb} na condição antecedente de umidade II (CN_{tb}=81). As segundas simulações realizadas no dia, ou seja, 1B, 2B e 3B, os valores CN obtidos foram próximas ao valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade III (CN_{tb}=92).

Devido à área do Milho ser irrigada periodicamente, pode-se caracterizar essa área como condição antecedente de umidade III, o que elevaria o valor CN=81 (AMC II) obtido nas tabelas do NRCS para CN=92 (AMC III). Para Kent (1966) apud Woodward et al. (2002), o método CN não é usado para simular o comportamento específico de um evento pluviométrico, mas, pode ser eficaz na determinação de limites seguros no desenvolvimento de projetos, propondo como um sistema alternativo na tomada de decisões em um projeto (planejamento) envolvendo bacias hidrográficas. Os resultados obtidos a partir da aplicação do método CN na aquisição dos dados de escoamento superficial podem ser questionados, em situações onde o tipo de solo, a vegetação e outras características relevantes, como a declividade, não foram avaliadas em experimentos específicos (WOODWARD et al., 2002).

No artigo apresentado por Hawkins (1978), determinou-se o escoamento superficial e o valor CN por meio de dados de precipitação e taxas de perdas (infiltração) em parcelas experimentais. Para isso, utilizaram a Equação Geral do Método CN e a Equação 12. Os valores de escoamento superficial com a Equação Geral foram maiores do que o escoamento superficial obtido com a Equação 12. Também, os valores CN's encontrados com a Equação Geral foram superiores aos valores CN's obtidos com a Equação 12. Portanto, a utilização da Equação Geral com $I_a=0,2 \cdot S$ leva a uma superestimava do escoamento superficial. Sugere-se que a Equação

12 funcione como uma alternativa à Equação Geral do Método CN, e possivelmente, com resultados mais confiáveis.

No Café o valor $CN_{tb}=77$ foi próximo ao $CN_{si}=89$ da primeira e da segunda simulação ($CN_{si}=84$) do outono-inverno. O escoamento superficial da simulação 2 ($Q=1,37$) foi maior do que o escoamento superficial da simulação 1 ($Q=0,96$), devido provavelmente à saturação do solo e das plantas com a simulação 1, e este aumento em 1 ponto no valor CN_{si} da primeira para a segunda simulação atribui-se ao maior escoamento superficial e à menor precipitação da segunda simulação.

Observe que a precipitação no Café outono-inverno foi maior do que a precipitação na Braquiária e devido a isto produziu menores valores CN que se comparados ao valor CN produzido pelo uso Braquiária. Destaca-se a elevada capacidade de armazenamento de água obtida com o índice de abstração inicial do simulador de chuva ($S\lambda=158,18$ mm), que conseqüentemente, apresenta um valor CN menor do que o CN_{si} e o CN_{p-q} , o que caracteriza o uso Café com boa capacidade de interceptação, infiltração e armazenamento de água.

Valores CN foram determinados a partir de dados de precipitação e de escoamento superficial obtidos de duas bacias hidrográficas florestadas na Carolina do Sul (EUA). Os valores CN variaram de 46 a 90 para uma das bacias hidrográficas e de 42 a 89 para a outra bacia hidrográfica. Nesta pesquisa a formação do escoamento superficial foi relacionada à elevação do nível do lençol freático, onde sazonalmente há variações entre períodos úmidos e períodos secos (EPPS et al., 2013). O NRCS recomenda a utilização do termo ‘condição antecedente de escoamento’ ao invés de condição antecedente de umidade, e EPPS et al. (2013) recomendam a definição da condição antecedente de escoamento em função do nível do lençol freático para o ajuste dos valores CN, melhorando a estimativa do escoamento superficial.

Epps et al. (2013) recomendam adaptações dos parâmetros utilizados pelo Método SCS-CN para predição do fluxo para as bacias hidrográficas analisados na Carolina do Sul, devendo,

para isto, considerar as variações no nível do lençol freático. Quanto maior foi o nível do lençol freático maiores foram os valores CN e, em épocas em que o nível do lençol freático se encontrava baixo, menores foram os valores CN encontrados. Também, a precipitação acumulada nos 5 dias anteriores ao evento mostrou-se correlata, pois, quanto menor foi a precipitação acumulada nos 5 dias menores foram os valores CN.

De acordo com Ajmal et al. (2015), os valores CN calibrados a partir de dados de precipitação e de escoamento superficial obtidos em bacias hidrográficas regionais reduzem erros na estimativa do escoamento superficial. Mishra et al. (2014) investigaram os efeitos da declividade nas bacias hidrográficas na formação do escoamento superficial e no próprio valor CN em parcelas experimentais de dimensão 22 m x 5 m nos usos da terra Milho e cana-de-açúcar, com grupo hidrológico do solo C na Índia.

Os resultados evidenciaram o efeito da declividade na formação do escoamento superficial e no valor CN, onde a declividade de 5% produziu maior valor CN (maior escoamento superficial) do que se comparado com parcelas com declividade de 1% e 3% para um mesmo grupo hidrológico do solo e uso da terra. Para um mesmo uso da terra o escoamento superficial aumenta à medida que aumenta a declividade. De acordo com Mishra et al. (2014), os valores CN obtidos a partir das parcelas experimentais foram próximos aos valores CN das tabelas do NRCS. Como o valor CN aumenta de AMC I para o AMC III, os valores CN aumentam conforme aumenta a declividade para um mesmo uso da terra.

Valores CN foram determinados a partir de 70 pequenas parcelas experimentais (4,6 m x 1,5 m; 10 m x 4m e 34 m x 5,5 m) em 8 sítios e em diferentes estágios de cultura de pequenos grãos com chuva artificial de intensidade entre 60-74 mm/h na Alemanha. Os resultados apresentaram que os valores CN determinados a partir da utilização de chuva artificial foram próximos aos valores CN determinados em parcelas experimentais de maior dimensão e com a utilização de chuva natural. Os valores CN selecionados nas tabelas do SCS (1972) variaram

apenas de 83 (condição hidrológica boa) a 84 (condição hidrológica ruim), e os valores CN derivados de dados de parcelas experimentais em culturas na Alemanha variaram de 45 a 99 (AUERSWALD; HAIDER, 1996).

D'asaro e Grillone (2012), investigando valores CN para bacias hidrográficas na Sicília (Itália) a partir de dados de precipitação-escoamento superficial, afirmam que os resultados demonstram maiores valores CN na estação de repouso vegetativo do que na estação de crescimento vegetativo. Na estação de repouso vegetativo (*dormant season*) o solo possui menor cobertura vegetal, devido provavelmente à menor umidade se comparado aos menores valores CN da estação de crescimento (*growing season*), onde o solo está mais seco e com a vegetação em estágio de crescimento. Comparando-se os valores CN das simulações do Milho outono-inverno e da Soja da primavera-verão da bacia hidrográfica do Glória, verificou-se que a média do valor CN_{si} do Milho foi de 88 e a média valor CN_{si} da Soja da primavera-verão foi de 79, ou seja, o Milho do outono do outono-inverno apresentou maior valor CN do que a Soja da primavera-verão.

Pandit et al. (2009) determinaram valores CN para áreas de concreto e asfalto verificando o impacto da duração, da intensidade e a declividade nos valores CN. Os valores CN para o concreto foram 100 para todas as condições experimentadas, e os valores CN para o asfalto variaram de 97 a 100 com média de 99. Os resultados no uso da terra Estrada apresentaram uma variação entre as calhas do valor CN_{si} de 93 a 100, com média entre as duas simulações realizadas de 96, valor médio inferior aos valores CN do concreto e do asfalto encontrados por Pandit et al. (2009). Os menores valores CN_{si} do uso da terra Estrada de chão podem ser atribuídos à pequena infiltração que possivelmente ocorre nas áreas de Estradas chão.

A presença de 'rugosidades' no asfalto reduziu os valores CN devido, provavelmente, no asfalto, rachaduras induzirem à infiltração, o que reduz o escoamento superficial, o que teoricamente pode ser comparado às parcelas experimentais na Estrada de cascalho da bacia

hidrográfica do Glória, pois mesmo que a Estrada de chão seja altamente compactada ainda possui maior permeabilidade se comparada às áreas de concreto que na pesquisa de Pandit et al. apresentou maiores valores CN. *“It is likely that the presence of cracks due to construction defects or weathering, construction joints, or other construction defects can significantly reduced the CN value (PANDIT et al., 2009, p.335)”*.

Estudo realizado no estado do Ceará objetivou determinar valores CN para diferentes manejos da vegetação da Caatinga do semiárido brasileiro. O estudo foi conduzido em três bacias hidrográficas experimentais, coletando dados de precipitação e de escoamento a partir de estações hidrometeorológicas instaladas na foz das bacias hidrográficas. Em uma das bacias a vegetação foi mantida inalterada, na outra bacia hidrográfica foi aplicado o raleamento da vegetação e em uma terceira bacia hidrográfica foram aplicados o corte, a queimada e a introdução de gramas para a pastagem. Os diferentes manejos analisados na pesquisa influenciaram o escoamento superficial e, por sua vez, alteraram os valores CN. O valor CN para a caatinga nativa foi igual a 75,4 (S=80,2 mm), para caatinga raleada o valor CN foi igual a 72,3 (S=97,3 mm) e para a caatinga submetida a queima com pastagem foi igual a 88,5 (S=33,0 mm) (ARAÚJO NETO et al., 2012).

Observa-se, nesses resultados, a influência da vegetação nos valores CN, onde, a presença da vegetação nativa reduziu o escoamento superficial e, conseqüentemente, os valores CN. Na bacia hidrográfica em que foi realizada a queimada com a introdução da pastagem aumentou o escoamento superficial e, conseqüentemente, o valor CN. Verificou-se que os valores CN obtidos na caatinga com dados de precipitação e escoamento superficial foram próximos aos valores CN selecionados nas tabelas do SCS (1972), onde na caatinga nativa o valor CN foi igual 75,4 e o valor CN tabelado (CN_{tb}) foi igual a 76 (florestas normais grupo hidrológico do solo ‘D’). O valor CN da caatinga raleada foi igual a 72,3 e o valor CN tabelado foi igual a 78 (campos permanentes normais, grupo hidrológico do solo ‘D’), onde o raleamento da vegetação

provocou o desenvolvimento da cobertura herbácea, o que levou à redução dos valores CN em comparação com a caatinga nativa. O valor CN da caatinga submetida ao corte e à queimada foi igual a 88,5; e o valor CN tabelado foi igual a 89 (pastagem pobre e grupo hidrológico do solo 'D') (ARAÚJO NETO et al., 2012).

Comparando-se os dados das simulações de 60 minutos de duração realizadas na bacia hidrográfica do Glória nos usos da terra Café, Soja, Milho, Braquiária e Cerrado, verificou-se que na Braquiária primavera-verão o valor CN_{si} foi igual a 80; no Cerrado da primavera-verão foi igual CN_{si}=87; no Café da primavera-verão, o valor CN_{si} foi igual a 80; e na Soja da primavera-verão, a média do valor CN_{si} foi igual a 79. Observou-se que o maior valor CN_{si} entre os quatro usos da terra comparados foi obtido no Cerrado, fato que se atribui à heterogeneidade da formação do Cerrado, encontrando parcelas com maior quantidade de gramíneas do que arbustos e vice-versa. Já nos usos da terra Café e Braquiária, com valor CN_{si} médio igual a 80 (7 pontos menores do que o valor CN_{si} do Cerrado), atribui-se a homogeneidade da formação vegetal e a 'boa' condição hidrológica, o que reduz o escoamento superficial e induz a infiltração, resultado que de certa forma assemelha-se aos resultados obtidos nos três manejos da Caatinga. O valor CN_{si} da Soja também foi inferior ao valor CN_{si} do Cerrado.

Para fins de comparação foram determinados o escoamento superficial com o método SCS-CN original nas condições antecedentes de umidade I, II e III (escoamento superficial estimado com a utilização dos valores CN_{tb}), e este volume de escoamento superficial foi comparado com o escoamento superficial observado nas parcelas experimentais. Também foi estimado o escoamento superficial com os dados coletados na pesquisa com o simulador nos usos e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Glória, ou seja, dados de precipitação, a capacidade de armazenamento de água do simulador de chuva e o índice de abstração inicial do simulador de chuva.

No uso da terra Milho, verificou-se que o escoamento superficial observado nas parcelas foi inferior ao volume de escoamento superficial estimado com os dados da pesquisa para as primeiras simulações do dia, e o escoamento superficial estimado para as segundas simulações do dia foram próximos ao escoamento superficial observado. Comparando o escoamento superficial observado com o escoamento superficial estimado pelo método SCS-CN, verificou-se que a primeira simulação do dia se enquadrou próximo ao escoamento superficial estimado para condição antecedente de umidade II.

Já para todas as segundas simulações do dia o escoamento superficial observado esteve mais próximo do escoamento superficial do SCS-CN na condição AMC III, devido provavelmente à saturação do solo com a primeira simulação do dia. Na Braquiária, o escoamento superficial estimado com os dados da pesquisa foi superior ao escoamento superficial observado nas parcelas e estimado pelo SCS-CN. Na Braquiária, o escoamento superficial estimado com dados de precipitação (P), de escoamento superficial (Q) e o índice de abstração inicial (λ) foram próximos ao escoamento superficial estimado pelo método SCS-CN – AMC III, entretanto, ambos distantes do escoamento superficial observados nas parcelas. Nas simulações no uso da terra Café observou-se a mesma lógica do que no uso da terra Braquiária.

No uso da terra Cerrado, do período outono-inverno, a comparação entre o escoamento superficial estimado com os dados da pesquisa (P; Q; λ) com escoamento superficial estimado pelo método SCS-CN apresentaram variações. Em algumas calhas o escoamento superficial estimado se assemelhou com o escoamento superficial observado. Em uma mesma simulação o escoamento superficial observado assemelhou-se com escoamento estimado pelo Método SCS-CN na condição antecedente de umidade I, em outra calha para a mesma simulação na condição antecedente de umidade II e em outra calha na AMC III. Verificou-se que houve

similaridades entre o escoamento superficial observado com o escoamento superficial estimado com dados P, Q e λ .

No uso da terra Estrada o escoamento superficial estimado com dados P, Q e λ , estimado pelo método SCS-CN (AMC III) e o escoamento superficial observados foram próximos. No uso da terra Café, do período da primavera-verão, o escoamento superficial observado nas parcelas foi distante do escoamento superficial estimado com dados P, Q e λ , e próximo ao escoamento superficial estimado pelo método SCS-CN na condição antecedente de umidade I (AMC I). Esta proximidade do escoamento superficial estimado pelo método SCS-CN (AMC I) pode indicar a boa capacidade de armazenamento de água nas linhas do Café. No uso da terra Soja, o escoamento superficial estimado com dados de P, Q e λ e pelo método SCS-CN foi maior do que o escoamento superficial observado nas parcelas experimentais.

Os índices de abstração inicial obtidos com o simulador de chuva na Fazenda Experimental do Glória, em Uberlândia-MG, apresentaram grande variação se comparadas a todas simulações realizadas nos usos da terra analisados. Os índices no uso da terra Milho indicou variação de $\lambda_{si}=0,18$ a $\lambda_{si}=0,36$. Na Braquiária, esse índice foi menor, variando de 0,04 a 0,12; no Café, variou de 0,04 a 0,14; no Cerrado, variou de 0,08 a 0,53. No Cerrado em uma mesma simulação, a abstração inicial variou de 0,15 a 0,53, o que evidencia a heterogeneidade da abstração inicial em áreas de Cerrado.

Nas simulações do uso da terra Cerrado, com 10 minutos de duração, os índices de abstração inicial do simulador de chuva (λ_{si}) variaram de 0,31 a 0,79; nas simulações com 20 minutos de duração estes índices variaram de 0,10 a 0,53, nas simulações com 30 minutos de duração, houve variaram de 0,08 a 0,45; e nas simulações com 60 minutos de duração, os índices variaram de 0,03 a 0,10. Analisando o índice de abstração inicial das simulações de 10 e de 60 minutos, observa-se um menor índice de abstração inicial nas simulações de 60 minutos devido à maior capacidade de armazenamento de água do solo em simulações com 60 minutos

de duração do que obviamente nas simulações de 10 minutos de duração. Assim, podemos inferir a influência do volume de precipitação nos índices de abstração inicial.

Analisando o volume de abstração inicial no uso da terra Milho, este variou de 3,40 mm a 18,18 mm; no uso da terra Braquiária, esse volume variou de 2,59 mm a 8,22 mm. No uso da terra Café, o índice variou de 1,85 mm a 4,90 mm; no Cerrado, esse volume de abstração inicial variou de 0,83 mm a 3,88 mm. Na Soja, o volume de abstração inicial variou de 13,58 mm a 30,49 mm; e no uso Estrada de cascalho, este volume de abstração inicial variou de 1,85 mm a 2,00 mm. Deve-se considerar o elevado volume de abstração inicial para o uso da terra Soja devido ao estágio de desenvolvimento da cultura.

Ajmal et al. (2015), analisando dados de chuvas de bacias hidrográficas sul-coreanas de áreas variadas maiores do que 48 km², estabeleceram a abstração inicial como 2% do volume precipitado, ao invés de correlacionar com a capacidade de armazenamento de água do solo. Sugerem que valores inferiores a $\lambda=0,2$ melhor estimam o volume de escoamento superficial. De acordo com Mishra e Singh (2003) citado por Ajmal et al., (2015), o índice de abstração inicial constitui-se de um parâmetro regional e climático, o que pressupõe sua calibração a partir de dados de bacias hidrográficas locais, e que a abstração inicial está correlacionada à intensidade, volume de precipitação e não apenas ao armazenamento de água do solo.

De acordo com Ajmal et al. (2015), a determinação do escoamento superficial considerando a abstração inicial como 2% da quantidade de chuva através da Equação Geral do SCS-CN melhor estimou o escoamento superficial do que a determinação do escoamento superficial com a equação do SCS-CN que considera a abstração inicial como 20% da capacidade de armazenamento de água do solo em bacias hidrográficas com declividade elevadas, e que necessita de estudos em bacias hidrográficas com declividade menores ou iguais a 5%.

Como mencionado no Capítulo 2 – Item 2.4, mediante dados de precipitação e de escoamento superficial, Hawkins e Khojeini, (2000), determinaram os índices de abstração inicial de bacias hidrográficas norte-americanas predominantemente agrícolas com eventos pluviométricos maiores do que 25,4 mm. Os resultados mostraram índices de abstração inicial menores do 20% ($I_a=0,2 \cdot S$), com média de 0,0607, e de todas as pequenas bacias hidrográficas analisadas apenas 5 apresentaram valores maiores que 0,20. Na bacia hidrográfica do Glória, apenas nas simulações realizadas no uso da terra Milho, Cerrado e Soja observaram-se índices de abstração inicial do simulador de chuva (λ_{si}) maiores do $\lambda=0,2$. Essa mesma avaliação pode ser feita para os índices de abstração inicial com a equação que considera a relação $I_a=0,2 \cdot S$.

Nas simulações no uso da terra Milho, observa-se que um maior índice de abstração inicial do simulador de chuva apresentou um menor escoamento superficial (simulações 1A; 2A; 3A), e um menor índice de abstração inicial apresentou um maior escoamento superficial (simulações 1B; 2B; 3B). No Cerrado, o índice de abstração inicial do simulador de chuva apresentou diferenças na mesma simulação entre as calhas de 0,08 a 0,45 (média de 0,18) em uma simulação de 30 minutos – período do outono-inverno. Uma simulação realizada no mesmo dia para o Cerrado, entretanto, com 20 minutos, apresentou oscilação do λ_{si} de 0,15 a 0,53 (média de 0,26). A partir dos resultados das simulações realizadas no uso da terra Cerrado conclui-se que quanto menor o volume de precipitação maiores os índices de abstração inicial do simulador de chuva, excetuando, a comparação de algumas calhas.

Essa diferença de índice de abstração inicial entre as calhas deve-se à fitofisionomia das plantas do Cerrado, onde a precipitação incidente em determinada calha é direcionada a outra calha, o que reduz o escoamento superficial de determinada calha e eleva o escoamento superficial em uma outra calha. No entanto, as simulações do Cerrado do período da primavera-verão, que foram realizadas com 60 minutos, apresentaram índices de abstração inicial baixos, variando de 0,03 a 0,10 comparando todas as calhas entre todas as simulações. Entretanto, no

uso da terra Soja com simulações de 60 minutos, o índice de abstração inicial do simulador de chuva foi em todas as calhas e para todas as simulações maiores do que $\lambda=0,20$, oscilando de 0,21 a 0,46. Esses dados podem indicar a elevada capacidade da cultura da Soja, com plantas de aproximadamente 70 cm de altura, em reter o escoamento superficial em uma precipitação de 66,5 mm/h e, conseqüentemente, elevar o índice de abstração inicial.

O índice de abstração inicial obtido por meio do método análise de evento no Sudeste brasileiro (sul de Minas Gerais) apresentou média de 0,0155 com enorme variabilidade λ (0 a 0,081), e concluíram ser ineficiente a determinação dos índices de abstração inicial correlacionados com as capacidades de armazenamento do solo. As análises estatísticas evidenciaram correlação entre algumas características da precipitação e a abstração inicial (MELLO et al., 2003).

Yuan et al. (2014), concluem que há influência do canal de drenagem em bacias hidrográficas temporárias, que apresentam solos profundos, de textura grosseira e com boa porosidade, sendo menores os índices de abstração inicial. Yuan et al. (2014) afirmam que a medida que reduz os valores CN aumenta interferência da abstração inicial na determinação do escoamento superficial. Os índices de abstração inicial para o semiárido do Arizona podem variar de 0,01 a 0,53, variação de mais de 95%.

Os índices de abstração inicial do simulador de chuva Braquiária variaram de 0,04 a 0,12 entre todas as simulações e entre todas as calhas; no Café, na mesma situação anterior, os índices variaram de 0,03 a 0,14, no Cerrado de 0,02 a 0,79; e na Soja com 70 cm de altura de 0,21 a 0,46. Na Braquiária, a variação entre o menor e o maior índice de abstração inicial foi de 66,67%; no Café de 78,57%; no Cerrado de 97,47%; na Soja de 54,35%. O índice de abstração inicial entre todas as calhas de todas as simulações entre esses quatro usos foi de 0,02 (calha Cerrado) a 0,79 (calha Cerrado), fato atribuído à heterogeneidade de formação vegetal no uso da terra Cerrado (Cerrado ralo), com a presença de árvores de pequeno porte até gramíneas.

Conforme Baltas et al. (2007) foram determinados índices de abstração inicial a partir de dados de precipitação e de escoamento superficial de 18 eventos pluviométricos de duas bacias hidrográficas no território grego com área de 15,18 km², com formação geológica e de uso e ocupação distintos, mas, com predomínio de pastagens (70% da área). A sub-bacia hidrográfica do norte não contém áreas urbanas e formações geológicas impermeáveis, ao contrário da sub-bacia hidrográfica do sul. O índice de abstração inicial médio para ambas as bacias hidrográficas foi de 0,014 e na sub-bacia hidrográfica do sul a média foi de 0,037. A sub-bacia hidrográfica do norte apresentou uma oscilação dos índices de Ia que vão de 0,014 a 0,054 e média de 0,037, fato atribuído à maior capacidade de retenção de d'água (infiltração), com menor antropização comparada à sub-bacia hidrográfica do sul composta por áreas residenciais, Estradas e formações geológicas impermeáveis.

Nos experimentos nos usos e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Glória, verificou-se que o volume de abstração inicial na Estrada (período do outono-inverno) apresentou média de 1,92 mm, contra a média da Soja de 20,98 mm; a média do Café de todas as simulações foi de 3,97 mm; a média do Cerrado para os dois períodos analisados foi de 2,33 mm; a média geral da Braquiária foi de 4,70 mm; e a média do Milho foi de 8,68 mm. Verifica-se que os usos da terra Milho e Soja apresentaram as maiores médias do volumes de abstração inicial, mas deve-se considerar que no caso do uso da terra Soja, esta encontra-se com aproximadamente 40 dias de plantio.

Em estudo realizado em parcela experimental de uso da terra agrícola a partir de dados de precipitação e escoamento superficial, Lal et al. (2016), determinaram os índices de abstração inicial, e os resultados para os dados naturais variaram de 0 a 0,208. Ordenando os dados de precipitação e de escoamento superficial em ordem decrescente, os índices de abstração inicial oscilaram de 0 a 0,659. A média dos dados naturais foram de 0,030 e a média dos dados ordenados foram de 0,108, inferiores ao índice adotado pelo NRCS. Lal et al. (2016),

afirmam não haver correlação entre a capacidade de armazenamento de água do solo e a abstração inicial.

Lal et al. (2016), concluíram que um baixo índice de abstração inicial melhor estimaria o escoamento superficial, e que um elevado valor do índice de abstração inicial levaria a uma piora na determinação do escoamento superficial. Mas, salienta-se que dados obtidos em parcelas experimentais são limitados devido à reduzida dimensão da parcela, pois, as parcelas experimentais possuem uma determinada declividade e tipos de solos específicos. No entanto, os índices de abstração inicial podem ser utilizados ao se considerar as mesmas condições que foram produzidos, como o mesmo tipo de solo, os mesmos usos da terra e a declividade. Assim, frisam a necessidade de estudos desta modalidade para uma melhor aplicação da metodologia com a utilização de estações automáticas na obtenção dos dados necessários para a determinação do parâmetro.

Para Lal et al. (2016), a capacidade de infiltração do solo foi a principal variável na determinação do valor CN se comparada ao uso da terra e à declividade. Assim, quanto maior a infiltração no solo, menores serão os valores CN, concluindo que os valores CN derivados de dados de precipitação e de escoamento superficial são maiores que os valores CN das tabelas do *National Engineering HandBook (NEH-4)*. Estudos dos índices de abstração inicial em diferentes condições edafoclimáticas são necessários para uma melhor aplicação da metodologia do *SCS-CN*.

Segundo D'asaro e Grillone (2010), aplicando-se métodos de estimativa da abstração inicial e dos índices de abstração inicial a partir de dados de precipitação e de escoamento superficial em bacias hidrográficas da Sicília, verificou-se que a mediana foi de $\lambda=0$ para dados naturais e de $\lambda=0,035$ para dados ordenados. No Milho, houve variação do $\lambda_{si}=0,18$ a $\lambda_{si}=0,36$ e $\lambda_{p-q}=0,11$ a $\lambda_{p-q}=0,28$. Na Braquiária, o λ_{si} variou de 0,04 a 0,13 e λ_{p-q} variou de 0,01 a 0,04; no Café, λ_{si} oscilou de 0,03 a 0,14 e λ_{p-q} variou de 0,01 a 0,05. No Cerrado, λ_{si} variou

de 0,02 a 0,79 e $\lambda_{p-q}=0,01$ a 0,79, uma das maiores variações do índices de abstração inicial obtidos na pesquisa com parcelas experimentais na bacia do Glória. Analisando-se os dados de abstração inicial entre as parcelas das simulações na Estrada observou-se diferenças entre os índices de abstração inicial.

A Estrada de cascalho apresentou diferenças consideráveis entre os índices de abstração inicial analisando-se as parcelas dados das simulações entre parcelas. Na cultura da Soja λ_{si} variou de 0,21 a 0,46 e o λ_{p-q} variou de 0,06 a 0,11.

O uso da terra Braquiária na bacia hidrográfica do Glória apresentou volumes de abstração inicial de 3,70 mm e um índice de abstração inicial de $\lambda_{si}=0,11$ e $\lambda_{p-q}=0,03$, e no período da primavera-verão um volume médio superior de abstração inicial, com 5,03 mm e um índice de abstração inicial médio de $\lambda_{si}=0,08$ e $\lambda_{p-q}=0,02$.

Conforme Elhakeem e Papanicolaou (2009), determinou-se o volume de abstração inicial em Adms (Iowa) na Soja em rotação de cultura no outono foi igual a 6 mm na rotação de cultura e igual a 5 mm no cultivo convencional. No verão, o volume de abstração inicial na rotação de cultura da Soja foi de 3 mm e no cultivo convencional 15 mm. A abstração inicial nas simulações da Soja apresentou elevado volume de abstração inicial, que variou de 13,58 mm a 30,49 mm. O índice de abstração inicial no verão em Pocahontas foi de 0,134 (cultivo convencional) e 0,082 (rotação de cultura), e no outono este índice foi de 0,060 (cultivo convencional) e 0,053 (rotação de cultura).

Em Adms, na estação do verão, o índice de abstração inicial variou de 0,099 (rotação de cultura) a 0,225 (cultivo convencional). No outono, o índice de abstração inicial variou de 0,079 (rotação de cultura) a 0,064 (cultivo convencional). Nos experimentos com a Soja, na bacia hidrográfica do Glória, este índice de abstração inicial do simulador de chuva (λ_{si}) variou de 0,21 a 0,46, com média final de 0,32, valores distantes dos encontrados por Elhakeem e

Papanicolaou (2009). No entanto, os índices de abstração λ_{p-q} foram próximos aos encontrados por Elhakeem e Papanicolaou (2009), variando de $\lambda_{p-q} = 0,06$ a $0,11$.

Segundo Ajmal e Kim (2015), o Método SCS-CN original ($I_a=0,2 \cdot S$) é inconsistente na área de estudo, pois, fixa a taxa de abstração inicial. O modelo aplicado para a obtenção dos valores CN que considera a abstração inicial sendo zero e o modelo que considera a $I_a=0,05 \cdot S$, apresentaram melhor desempenho do que modelo original do SCS-CN devido à menor interferência da abstração inicial na determinação do escoamento superficial do que o próprio valor CN. Concordando com Ponce e Hawkins (1996), Ajmal e Kim (2015) sugerem que a abstração inicial é um parâmetro regional, representado pelas diversidades geológicas e climatológicas. O índice de abstração inicial otimizado foi de $\lambda=0,01$, vinte vezes menor do que o índice original; verificou-se, ainda, que a redução do índice de abstração inicial de $\lambda=0,2$ para $\lambda=0$ melhor estima o escoamento superficial. Utilizando os índices de abstração inicial otimizados na pesquisa, Ajmal e Kim (2015) encontraram volumes de abstração inicial que variaram de 0 a 10,97 mm e com média de 3,49 mm.

Ajmal e Kim (2015) buscaram otimizar os valores CN e λ , concluindo não haver relação entre valores CN e λ , devido a variações nos dois parâmetros, ora altos valores CN e baixo λ , e vice-versa, indicando que esses parâmetros são dependentes do volume de precipitação e escoamento superficial. Segundo Ajmal e Kim (2015), comparando-se o Método SCS-CN original e o método alternativo sugerido por Woodward (2003), que considera a abstração como 5% da capacidade de armazenamento de água do solo, observa-se que os valores CN diminuem com a redução da $\lambda=0,2$ para $\lambda=0,05$. Nas simulações, observa-se uma redução dos valores CN_{si} para os valores CN_{p-q} .

O índice de abstração inicial no uso Café outono-inverno com a capacidade de armazenamento S_{si} da simulação 1 foi de $\lambda=0,14$, valor próximo ao estipulado oficialmente pelo NRCS ($\lambda=0,2$). O índice de abstração inicial da simulação 2 foi de $\lambda_{si}=0,13$. Observe que

no uso Cerrado outono-inverno apresentou-se um valor $CN_{si}=92$ na simulação 1 tendo sido aumentado para 94 na simulação 2. Este aumento no valor CN atribui-se à maior precipitação da simulação 1 em relação à simulação 2, confirmando as conclusões de Hawkins et al. (2010) sobre a interferência do volume de precipitação no valor CN. Portanto, uma maior precipitação produziu um menor valor CN para o uso Cerrado comparando-se a simulação 1 e 2.

O índice de abstração inicial do simulador de chuva no Cerrado do outono-inverno para as simulações 1 e 2 foram próximo aos $\lambda=0,2$ recomendados pelo NRCS. Como comprovado pelos dados dos outros usos do solo, os volumes de abstração inicial nas primeiras simulações são superiores aos volumes captados nas simulações seguintes. Note que na simulação 4 há o maior volume de chuva e, conseqüentemente, um menor valores CN se comparados às outras três simulações realizadas para o uso Cerrado.

Para a produção do índice de abstração inicial do simulador de chuva há uma grande interferência do volume de precipitação, pois, a capacidade de armazenamento de água do solo define-se pela precipitação incidente e do respectivo escoamento superficial produzido. Ressalta-se que no Cerrado as parcelas foram distribuídas aleatoriamente e algumas delas possuíam maior quantidade de plantas de porte arbóreo-arbustivo, ocorrendo uma diferença no escoamento superficial produzido entre as parcelas e nos dados derivados.

A equação final produzida pelo SCS (equação 2 e 3) foi desenvolvida em condições encontradas em microbacias hidrográficas nas quais os dados de precipitação diária e os de vazão encontravam-se disponíveis. De acordo com Cowan (1957) apud Woodward et al. (2002), não havia dados disponíveis para definir as curvas de infiltração em função do tempo nas diversas condições de uso da terra, condições de cobertura e tipo de solo.

Para Mockus apud Woodward et al. (2002), o método CN apresenta-se como uma ferramenta de conhecer (método padrão) as perdas (escoamento superficial) em uma bacia hidrográfica, considerando-se as características físicas. Os usos mais correntes para o Método

CN refere-se à determinação do volume de escoamento superficial de um determinado período em função da precipitação total para um período de retorno. Outra forma comumente aplicada refere-se à determinação do escoamento superficial para eventos pluviométricos individuais. Ainda nesse sentido, é possível o conhecimento do processo de escoamento superficial a partir da aplicação de um modelo relacionando umidade do solo e valor CN.

O método CN não é indicado para áreas de relevos cársticos, por este tipo de relevo induzir ao escoamento subsuperficial e subterrâneo. De acordo com Hawkins (1984) apud Woodward et al. (2002), o método CN aplica-se bem a bacias hidrográficas agrícolas e não recomenda-se a bacias hidrográficas florestadas. A escassez de dados de precipitação-escoamento superficial em áreas urbanas levou ao desenvolvimento de valores interpretativos.

No entanto, o método do Curve Number é de simples e fácil utilização, principalmente para uma grande variedade de complexos solo-agricultura, método utilizado por engenheiros e hidrologistas. O método foi discutido por uma ampla gama de artigos e incorporado a diversos pacotes computacionais.

CONCLUSÕES

O método SCS-CN apresenta-se como uma ferramenta de fácil aplicação para a obtenção dos dados de escoamento superficial e da capacidade de armazenamento de água do solo, considerando os diversos usos e ocupação da terra encontrados em bacias hidrográficas devido aos poucos dados requeridos na aplicação da metodologia.

No entanto, devido à metodologia ser desenvolvida em condições edafoclimáticas específicas, entende-se como necessário estudos (regionais) que forneçam parâmetros mais confiáveis, como os índices de abstração inicial e os valores CN para os diversos tipos de usos da terra, a cobertura e manejo do solo, o grupo hidrológico do solo e as condições de umidade. Pesquisas foram realizadas pelo mundo, apresentando possibilidades de aperfeiçoamento e adaptação dos seus parâmetros, como o índice de abstração inicial e os valores CN.

Inicialmente, havia a intenção de realização de estudos dos índices de abstração inicial e dos valores CN a partir de dados de precipitação e de escoamento superficial naturais fornecidos pelos órgãos brasileiros, como a Agência Nacional das Águas (ANA) e/ou do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), entretanto, optou-se pela realização do estudo com simulador de chuva devido à praticidade de utilização do mesmo, e pelo fato de o simulador de chuva possibilitar o estudo nos diversos usos e ocupação da terra individualmente.

As bacias hidrográficas possuem usos e ocupação da terra diversos, não sendo possível a avaliação isolada dos diversos usos e ocupação da terra presentes nas bacias hidrográficas a partir de chuvas naturais. O estudo foi realizado com o simulador de chuva nos usos e ocupação da terra Braquiária, Café, Cerrado, Milho, Soja e Estrada. Os dados da abstração inicial, da capacidade de armazenamento de água do solo, dos valores CN e dos índices de abstração inicial com a utilização de simulador de chuva nos usos e ocupação da terra no Cerrado apresentaram as seguintes conclusões:

- Os resultados do simulador de chuva evidenciaram variações nos índices de abstração inicial considerando os diversos usos e ocupação da terra. Os índices de abstração inicial do simulador de chuva (λ_{si}) variaram de 0,02 (Cerrado outono-inverno) a 0,79 (Cerrado outono-inverno); os índices de abstração inicial com a capacidade de armazenamento de água do solo com dados de precipitação e de escoamento superficial variaram entre os usos e ocupação da terra analisados de 0,01 (Braquiária e Café primavera-verão) a 0,71 (Cerrado outono-inverno);
- Observaram-se variações no volume de abstração inicial e no escoamento superficial em um mesmo uso da terra em simulações de chuva que foram realizadas em sequência uma da outra, com intervalos de menos de 15 minutos;
- Quanto maior o escoamento superficial menor foram as capacidades de armazenamento de água do solo (S_{si} ; S_{p-q} e S_{λ});
- Quanto menor o volume de precipitação – e maior o escoamento superficial – menores foram as capacidades de armazenamento de água do solo e, portanto, maiores foram os valores CN;
- Quanto maior o volume de precipitação menores são os índices de abstração inicial do simulador de chuva (λ_{si}) e, também, λ_{p-q} , pois os índices são derivados da relação I_a/S ;
- Nos usos da terra Café e Cerrado houve variações no escoamento superficial entre as calhas, fato atribuído ao escoamento pelo tronco (principalmente, no uso da terra Cerrado) e, portanto, diferentes capacidades de armazenamento de água do solo, índices de abstração inicial e valores CN entre as calhas;
- Verificou-se interferência do volume de precipitação nos valores CN e nos índices de abstração inicial e uma tendência da redução dos valores CN com o aumento da precipitação, e vice-versa;

- O grupo hidrológico do solo obtido no uso e ocupação da terra braquiária, milho, soja e na estrada foram HSG-D e nos usos e ocupação da terra café e cerrado foram HSG-C. Os usos e ocupação da terra pertencentes ao HSG – C localizam-se na porção norte da bacia hidrográfica do córrego Glória, e os uso da terra pertencentes ao HSG – D, localizam-se na porção sul da bacia que apresenta solos com maior quantidade de areia do que os solos analisados na porção norte da bacia do Glória;
- Os valores CN_{si} foram mais próximos aos valores CN_{tb} na condição antecedente de umidade II ou III (AMC II e III), e o valor CN_{p-q} foi próximo ao valor CN_{tb} na condição antecedente de umidade I (AMC I), devido à maior capacidade de armazenamento de água do solo Sp-q;
- No uso da terra Estrada a simulação 1 os valores CN_{si} variaram de 93 a 100, valores CN superiores ao valor CN_{tb}-AMC I; no uso Estrada, obviamente, apresentou os maiores valores CN entre todos os usos e ocupação da terra analisados;
- Os maiores percentuais de infiltração de água no solo foram verificadas nos usos da terra Braquiária, Café e na Soja. Variações entre a infiltração de água no solo nas calhas do Cerrado, diferença atribuída ao escoamento pelo tronco e à interceptação da vegetação.

Os resultados dos índices de abstração inicial com a utilização de dados do volume de abstração inicial e das capacidades de armazenamento de água do solo, utilizando-se de um simulador de chuva, confirmou a hipótese que há uma grande variação nos índices de abstração entre os usos da terra analisados. Uma das maiores variações nos índices de abstração inicial

foram observadas no uso da terra Cerrado, e menores variações nos índices de abstração inicial foram verificadas nos usos da terra Braquiária e Café.

Estudos nos diferentes biomas brasileiros, nos diferentes usos e ocupação da terra, e em diferentes declividades são necessários para o aperfeiçoamento na aplicação do Método SCS-CN, e que se deve considerar a precipitação antecedente em menos de 24 horas para a definição dos parâmetros utilizados na aplicação do método SCS-CN. Estudos com simuladores de chuva podem fornecer parâmetros para fins de comparação e novas pesquisas devem ser realizadas para a melhora dos parâmetros do Método SCS-CN.

Os resultados obtidos com a utilização do simulador de chuva forneceram dados que podem ser utilizados para fins de comparação com os parâmetros originalmente utilizados pelo método SCS-CN e com parâmetros fornecidos por outras pesquisas nas diversas regiões. Pesquisas para a obtenção de dados dos parâmetros do Método SCS-CN nos diversos usos e ocupação da terra no Cerrado e em outros biomas podem fornecer dados para subsidiar pesquisadores e gestores na tomada de decisões no processo de gerenciamento e tomada de decisões no gerenciamento dos recursos hídricos em bacias hidrográficas.

REFERÊNCIAS

- AJMAL, Muhammad et al. Investigation of SCS-CN and its inspired modified models for runoff estimation in South Korean watersheds. **Journal of Hydro-Environment Research**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 592–603, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S157064431500012X?via%3Dihub>>. Acesso em: 26 nov. 2018.
- AJMAL, Muhammad; KIM, Tae woong. Quantifying Excess Stormwater Using SCS-CN–Based Rainfall Runoff Models and Different Curve Number Determination Methods. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, USA, v. 141, n. 3, p. 363–370, 2015. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%29IR.1943-4774.0000805>>. Acesso em: 13 nov. 2018.
- ARAÚJO NETO, José Ribeiro et al. Otimização Do Número De Curva (Cn-Scs) Para Diferentes Manejos Na Região Semiárida, Ceará, Brasil. **Irriga**, Botucatu-SP, Brasil, n. Edição especial, p. 264–279, 2012. Disponível em: <<http://energia.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/download/452/249>>. Acesso em: 1 out. 2018.
- AUERSWALD, Karl; HAIDER, Josef. Runoff Curve Numbers for Small Grain Under German Cropping Conditions. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 47, p. 223–228, 1996. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479796900481>>. Acesso em: 2 out. 2018.
- BACCARO, Claudete Aparecida Dallevedore et al. Mapa geomorfológico do Triângulo Mineiro: uma abordagem morfoestrutural-escultural. **Revista Sociedade & Natureza**, [s. l.], v. 13, n. 25, p. 115–127, 2001. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/29958/pdf_152>. Acesso em: 26 nov. 2018.
- BACCARO, Claudete Aparecida Dallevedore. Estudos geomorfológicos do município de Uberlândia. **Sociedade & Natureza**, [s. l.], v. 1, p. 17–21, 1989.
- BALTAS, E. A.; DERVOS, N. ...; MIMIKOU, M. A. Technical Note: Determination of the SCS initial abstraction ratio in an experimental watershed in Greece. **Hydrol. Earth Syst. Sci**, [s. l.], v. 11, p. 1825–1829, 2007. Disponível em: <<https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/hal-00305110/document>>. Acesso em: 1 out. 2018.
- BANASIK, Kazimierz et al. Curve Number estimation for a small urban catchment from recorded rainfall-runoff events. **Archives of Environmental Protection**, Zabrze, Polônia, v. 40(4), n. April 2016, p. 75–86, 2014. Disponível em: <<https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/aep.2014.40.issue-3/aep-2014-0032/aep-2014-0032.pdf>>. Acesso em: 1 out. 2018.

BANASIK, Kazimierz; WOODWARD, Donald. Empirical Determination of Runoff Curve Number for a Small Agricultural Watershed in Poland. In: (2nd Joint Federal Interagency Conference, Ed.) 2010, Las Vegas. **Anais...** Las Vegas Disponível em: <https://acwi.gov/sos/pubs/2ndJFIC/Contents/10E_Banasik_28_02_10.pdf>. Acesso em: 2 out. 2018.

BASTOS, Fernando Resende; MELO, Benjamin De. **Avaliação de linhagens da cultivar de cafeeiro topázio nas condições do município de Uberlândia - MGVIII Encontro Interno - XII Seminário de Iniciação Científica.** Uberlândia, Brasil, 2008. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/6331/doc_103_34-CBPC-2008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 26 nov. 2018.

BILIBIO, William Diniz. **Atributos físicos e químicos de um latossolo, fase cerrado, sob diferentes sistemas de manejo** Uberlândia, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/12098>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

BIULCHI, Denise Figueiredo. **Uso de leguminosas arbóreas no controle da evolução de voçoroca no domínio do Cerrado.** 2005. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/15952>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

CONFESSOR, Jefferson Gomes. **Avaliação e monitoramento de processos erosivos em solo degradado a partir do uso de simulador de chuvas.** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

CRUZ, Lísia Moreira; PINESE JÚNIOR, José Fernando; RODRIGUES, Silvio Carlos. Abordagem cartográfica da fragilidade ambiental na Bacia Hidrográfica Do Glória - MG. **Revista Brasileira de Cartografia**, [s. l.], v. 03, n. 62, p. 505–516, 2010. Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/view/250/238>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

D'ASARO, Francesco; GRILLONE, Giovanni. Runoff Curve Number Method in Sicily: CN determination and analysis of the initial abstraction ratio. **2th Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas, NV, June 27 - July 1, 2010**, Las Vegas, EUA, p. 1–12, 2010. Disponível em: <https://acwi.gov/sos/pubs/2ndJFIC/Contents/11E_D'Asaro_Grillone.pdf>. Acesso em: 1 out. 2018.

D'ASARO, Francesco; GRILLONE, Giovanni. Empirical Investigation of Curve Number Method Parameters in the Mediterranean Area. **Journal of Hydrologic Engineering**, [s. l.], v. 17, n. 10, p. 1141–1152, 2012. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84876885897&partnerID=tZOtx3y1>>. Acesso em: 2 out. 2018.

D'ASARO, Francesco; GRILLONE, Giovanni. Discussion: Curve Number Derivation for Watersheds Draining Two Headwater Streams in Lower Coastal Plain South Carolina, USA. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, [s. l.], v. 51, n. 2, p. 573–578, 2015. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/jawr.12264>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

DA SILVA, Alcione Hermínia. **Medidas físicas e biológicas com potencial para uso em recuperação de voçoroca no município de Uberlândia-MG**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/16095/1/Diss_Alcione.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2019.

DA SILVA, César Antônio; TEODORO, Reges Eduardo Franco; DE MELO, Benjamim. Produtividade e rendimento do cafeeiro submetido a lâminas de irrigação. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, [s. l.], v. 43, n. 3, p. 387–394, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v43n3/a14v43n3.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2019.

DE VILLARÁN SAN JUAN, Rubén Fernández. **Mejora de los parámetros de cálculo del modelo del número de curvas y su validación mediante un modelo hidrológico distribuido**. 2006. Universidad de Huelva - Departamento de Ciencias Agroforestales, Huelva, Espanha, 2006. Disponível em: <<http://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/2723>>. Acesso em: 1 out. 2018.

ELHAKEEM, Mohamed; PAPANICOLAOU, Athanasios N. Estimation of the Runoff Curve Number via direct rainfall simulator measurements in the state of Iowa, USA. **Water Resources Management**, [s. l.], v. 23, n. 12, p. 2455–2473, 2009. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-008-9390-1>>. Acesso em: 1 out. 2018.

ELHAKEEM, Mohamed; PAPANICOLAOU, Athanasios N. Runoff Curve Number and Saturated Hydraulic Conductivity Estimation via Direct Rainfall Simulator Measurements. **CHI - Journal Of Water Management Modeling**, [s. l.], p. 141–156, 2012. Disponível em: <<https://www.chijournal.org/R245-09>>. Acesso em: 2 out. 2018.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. v. 2 Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Manual+de+Metodos_000fzvhotqk02wx5ok0q43a0ram31wtr.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2019.

EPPS, Thomas H. et al. Curve number derivation for watersheds draining two headwater streams in lower coastal plain south carolina, USA. **Journal of the American Water Resources Association**, [s. l.], v. 49, n. 6, p. 1284–1295, 2013. Disponível em: <https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/2013/ja_2013_epps_001.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2019.

HAWKINS, Richard H. Effects of rainfall intensity on runoff curve numbers. **Hydrology and Water Resources in Arizona and the southwest**, [s. l.], v. 8, p. 53–64, 1978.

HAWKINS, Richard H. Asymptotic Determination of Runoff Curve Numbers from Data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, [s. l.], v. 119, n. 2, p. 334–345, 1993. Disponível em: <<http://ascelibrary.org.ez122.periodicos.capes.gov.br/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%290733-9437%281993%29119%3A2%28334%29>>. Acesso em: 1 out. 2018.

HAWKINS, Richard H. et al. **Curve Number Hydrology - State of the Practice**. Reston, Virginia: ASCE/EWRI - Environmental and Water Resources Institute (EWRI) of the American Society of Civil Engineers, 2009.

HAWKINS, Richard H. et al. Continuing evolution of rainfall-runoff and the curve number precedent. **2nd Joint Federal Interagency Conference**, Las Vegas, EUA, p. 2–12, 2010. Disponível em: <https://acwi.gov/sos/pubs/2ndJFIC/Contents/10E_Hawkins.pdf>. Acesso em: 1 out. 2018.

HAWKINS, Richard H.; HJELMFELT, Allen T.; ZEVENBERGEN, Adrian W. Runoff Probability, Storm Depth, and Curve Numbers. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, [s. l.], v. 111, n. 4, p. 330–340, 1985. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%290733-9437%281985%29111%3A4%28330%29>>. Acesso em: 28 jan. 2019.

HAWKINS, Richard H.; KHOJEINI, Ali Vali. Initial Abstraction and Loss in the Curve Number Method. **Proceedings Arizona Hydrological Society**, Arizona, 2000. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10150/296552>>. Acesso em: 1 fev. 2016.

JIANG, Ruiyun. **Investigation of Runoff Curve Number Initial Abstraction Ratio**. 2001. School of Renewable Natural Resources, Arizona, EUA, 2001. Disponível em: <<http://arizona.openrepository.com/arizona/handle/10150/191301>>. Acesso em: 5 abr. 2017.

LAL, Mohan et al. Evaluation of the Soil Conservation Service curve number methodology using data from agricultural plots. **Hydrogeology Journal**, [s. l.], n. August, p. 1–17, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10040-016-1460-5>>. Acesso em: 2 out. 2018.

LING, L.; YUSOP, Z. A micro focus with macro impact: Exploration of initial abstraction coefficient ratio (λ) in Soil Conservation Curve Number (CN) methodology. In: IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE 2014, **Anais...** : IOP Publishing Ltd, 2014. Disponível em: <<http://stacks.iop.org/1755-1315/18/i=1/a=012121?key=crossref.88cb0c455e6db3724e6a475fdd0deeb8>>. Acesso em: 2 ago. 2015.

LUK, Shiu-hung; ABRAHAMS, Athol D.; PARSONS, Anthony J. Methodology: A simple rainfall simulator and trickle system for hydro-geomorphological experiments. **Physical Geography**, [s. l.], v. 7, p. 344–356, 1986.

MELLO, Carlos R. De et al. Abstração inicial da precipitação em microbacia hidrográfica com escoamento efêmero. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande (PB), v. 7, n. 3, p. 494–500, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662003000300015&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 1 out. 2018.

MISHRA, S. K. et al. Experimental Verification of the Effect of Slope and Land Use on SCS Runoff Curve Number. **Water Resources Management**, [s. l.], v. 28, n. 11, p. 3407–3416,

2014. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez122.periodicos.capes.gov.br/content/pdf/10.1007%2Fs11269-014-0582-6.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

MONGIL, Jorge. Adaptacion de las tablas del numero de curva para las formaciones vegetales del parque nacional de la Caldera de Taburiene (isla de La Palma, España). **Boletín Geológico y Minero**, [s. l.], v. 121, n. 2, p. 179–188, 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/276278814_Adaptacion_de_las_tablas_del_Numer_o_de_Curva_para_las_formaciones_vegetales_del_parque_Nacional_de_la_caldera_de_Tabu_riente_isla_de_La_palma_Espana>. Acesso em: 28 jan. 2019.

MUSGRAVE, G. W. **How much of the Rain Enters the Soil?** Yearbook ed. [s.l.] : United States Department of Agriculture, 1955. Disponível em: <<https://naldc.nal.usda.gov/download/IND43894552/PDF>>. Acesso em: 1 out. 2018.

NISHIYAMA, Luiz. Geologia do Município de Uberlândia e Áreas Adjacentes. **Sociedade & Natureza**, [s. l.], v. 1, p. 9–16, 1989.

PANDIT, Ashok et al. Estimations of Soil Conservation Service Curve Numbers for Concrete and Asphalt. [s. l.], v. 14, n. April, p. 335–345, 2009. Disponível em: <<https://ascelibrary-org.ez122.periodicos.capes.gov.br/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%291084-0699%282009%2914%3A4%28335%29>>. Acesso em: 2 out. 2018.

PINESE JÚNIOR, José Fernando; CRUZ, Lísia Moreira; RODRIGUES, Sílvio Carlos. Monitoramento de erosão laminar em diferentes usos da terra, Uberlândia - MG. **Sociedade & Natureza**, [s. l.], v. 20, n. 2, p. 157–175, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-45132008000200010&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 28 jan. 2019.

PONCE, Victor M.; HAWKINS, Richard H. Runoff Curve Number: Has it reached maturity? **Journal of Hydrologic Engineering**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 11–19, 1996. Disponível em: <<http://ascelibrary.org.ez122.periodicos.capes.gov.br/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%291084-0699%281996%291%3A1%2811%29>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

RENARD, K. G. et al. **Hydrological Science and Technology** American Institute of Hydrology Tucson, EUA, 1993. Disponível em: <<https://www.tucson.ars.ag.gov/unit/publications/PDFfiles/921.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2018.

RICA, Costa. Estudo de condutividade hidráulica em solos de savana encontrados em áreas a margem direita do córrego da Onça, município de Uberlândia/MG/BR. **Revista Geográfica de América Central**, Costa Rica, 2011. Disponível em: <<http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2581/2465>>. Acesso em: 13 nov. 2018.

RODRIGUES, Silvio Carlos; DOS SANTOS, Fabiana Cristina; BARCELOS, Anna Carolina. Distribuição de atributos físicos do solo sob vertente em ambiente de Cerrado nativo do Triângulo Mineiro. **Caderno de Geografia**, [s. l.], v. 25, n. 43, p. 66–77, 2015. Disponível em: <<http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/8045>>. Acesso em: 28 jan. 2019.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Os fundamentos da geografia da natureza. In: ROSS, Jurandyr Luciano Sanches (Ed.). **Geografia do Brasil**. 4. ed. São Paulo. p. 549.

SCS - SOIL CONSERVATION SERVICE. **SCS Engineering Field Handbook, Chapter 2**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://irrigationtoolbox.com/NEH/Part650_EngineeringFieldHandbook/EFH-CH02.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2019.

SILVA, Josenilson Bernardo Da. Avaliação da perda de solo por fluxo superficial utilizando parcelas experimentais: Estudo de caso na bacia hidrográfica do Córrego do Glória em Uberlândia – MG. [s. l.], p. 1–147, 2006. Disponível em: <http://www.ppgeo.ig.ufu.br/sites/ppgeo.ig.ufu.br/files/Anexos/Bookpage/Anexos_JosenilsonBernardo.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2018.

SILVA, Patrícia Costa. **Variabilidade de atributos físicos e químicos de solo submetidos a diferentes sistemas de manejo de plantas espontâneas na cafeicultura do cerrado mineiro**. Uberlândia. Disponível em: <<http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/12108/1/dis.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2019.

SIMANTON, J. R.; RENARD, K. G.; SUTTER, N. G. **Procedures for identifying parameters affecting storm runoff volumes in a semiarid environment**. **Agricultural Research Service**. Berkeley, California, EUA, 1973. Disponível em: <<https://www.tucson.ars.ag.gov/unit/publications/PDFfiles/128.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2019.

SOARES, Marcia Regina Gomes de Jesus et al. Eficiência do Método Curve Number de retenção de águas pluviais. **Revista Mercator**, Fortaleza, v. 16, n. 16001, p. 1–16, 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/mercator/v16/1984-2201-mercator-16-e16001.pdf>>. Acesso em: 1 out. 2018.

SOULIS, K. X.; VALIANTZAS, J. D. SCS-CN parameter determination using rainfall-runoff data in heterogeneous watersheds-the two-CN system approach. **Hydrology and Earth System Sciences**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 1001–1015, 2012. Disponível em: <<https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/16/1001/2012/hess-16-1001-2012.pdf>>. Acesso em: 2 out. 2018.

SYSTEMS, Spraying Co. **Bicos de pulverização jato Cone Cheio Bicos cone cheio**, [s.d.]. Disponível em: <https://www.spray.com.br/cat70pt/cat70ptpdf/ssco_cat70pt_b.pdf>. Acesso em: 2 out. 2018.

TUCCI, Carlos. E. .. Escoamento Superficial. In: CARLOS E.M. TUCCI; ANDRÉ L.L. DA SILVEIRA ET AL. (Ed.). **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre, Brasil: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 2009. p. 391–483.

USDA-NRCS. **Urban Hydrology for Small Watersheds TR-55 USDA Natural Resource Conservation Service Conservation Engineering Division Technical Release 55**, 1986.

Disponível em:

<https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf>. Acesso em: 2 out. 2018.

USDA-NRCS. **Chapter 8: Land Use and Treatment (USDA-NRCS, Ed.) Part 630 Hydrology National Engineering Handbook**. USA: USDA-NRCS, 2002. Disponível em:

<<http://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/NEHhydrology/ch8.pdf>>. Acesso em: 1 out. 2018.

USDA-NRCS. **National Engineering Handbook Chapter 10: Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall. Part 630 Hydrology National Engineering Handbook**. USA: United States Department of Agriculture - Natural Resources Conservation Service, 2004. a.

Disponível em: <<http://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/NEHhydrology/ch10.pdf>>. Acesso em: 1 out. 2018.

USDA-NRCS. **National Engineering Handbook Chapter 9: Hydrologic Soil-Cover Complexes Part 630 Hydrology National Engineering Handbook**. USA. Disponível em:

<<http://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/NEHhydrology/ch9.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2016b.

USDA-NRCS. **National Engineering Handbook Chapter 7: Hydrologic Soil Groups Part 630 Hydrology National Engineering Handbook**. [s.l.] : 2009, 2009. Disponível em:

<<http://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/NEHhydrology/ch7.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2016.

USDA-NRCS. **NRCS History | NRCS**. 2016. Disponível em:

<<http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/about/history/?cid=stelprdb1041450>>. Acesso em: 21 out. 2016.

VICTOR MOCKUS. Estimation of direct runoff from storm rainfall. In: **National Engineering Handbook - Section 4 - Hydrology**. [s.l: s.n.]. p. 24.

WOODWARD, Donald et al. **Curve number method: Origins, Applications And Limitations** Derwood - MD, 2002. Disponível em:

<<https://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/CNarchive/CNorigins.doc>>. Acesso em: 1 out. 2018.

WOODWARD, Donald E. et al. Runoff Curve Number Method : Examination of the initial abstraction ratio. In: **WORLD WATER & ENVIRONMENTAL RESOURCES CONGRESS**

2003, Derwood, MD, USA. **Anais...** Derwood, MD, USA Disponível em:
<http://ponce.sdsu.edu/hawkins_initial_abstraction.pdf>. Acesso em: 1 out. 2018.

YUAN, Yongping et al. Initial abstraction and curve numbers for semiarid watersheds in Southeastern Arizona. **Hydrological Processes**, [s. l.], v. 28, n. 3, p. 774–783, 2014. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hyp.9592/pdf>>. Acesso em: 1 out. 2018.