

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

VITOR HERINGER SILVA

Estimativas do escoamento superficial em microbacia hidrográfica sob  
diferentes condições de uso da terra

JERÔNIMO MONTEIRO  
ESPÍRITO SANTO

2014

VITOR HERINGER SILVA

Estimativas do escoamento superficial em microbacia hidrográfica sob  
diferentes condições de uso da terra

Monografia apresentada ao  
Departamento de Ciências  
Florestais e da Madeira, da  
Universidade Federal do Espírito  
Santo, como requisito parcial para  
obtenção do título de Engenheiro  
Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2014

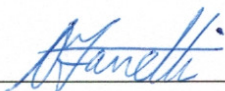
VITOR HERINGER SILVA

Estimativas do escoamento superficial em microbacia hidrográfica sob  
diferentes condições de uso da terra

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira,  
da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção  
do título de Engenheiro Florestal.

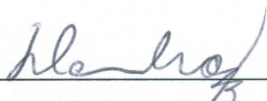
Aprovado em 14 de fevereiro de 2014.

COMISSÃO EXAMINADORA



---

SIDNEY SÁRA ZANETTI  
Prof. D. Sc., DCFM – CCA – UFES  
Orientador



---

CARLOS SILVA DAMBROZ  
Engenheiro Florestal, M. Sc.  
Examinador



---

HELDER DE AMORIM MENDES  
Prof. M. Sc., DCOMP – CCA – UFES  
Examinador

“Já indicamos que, na medida do possível, a cidade deve estar em comunicação, ao mesmo tempo, com o interior do país, o mar e a totalidade de seu território. A cidade deve oferecer a seus cidadãos uma saída fácil; antes de tudo, ela deve ter águas e fontes naturais em abundância. Eis por que nos Estados sabiamente governados, se todas as fontes não são igualmente puras e se há carência de fontes de boa qualidade, as águas que servem para a alimentação devem ser separadas das que são destinadas para outras coisas.”

Aristóteles, filósofo grego (384 e 322 a.C)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que esteve sempre ao meu lado em todos os momentos da minha vida, me concedendo saúde, sabedoria e livramentos.

Aos meus pais, Ivalci e Edenilza, por todo sacrifício que fizeram por mim, consolação nas horas difíceis e apoio incondicional.

Aos meus irmãos, em especial o Gildo pelo apoio sempre que precisei e pelo exemplo de vida que me passou.

A toda minha família que de alguma forma me ajudou nessa conquista.

Aos meus professores pelos ensinamentos e em especial ao professor Sidney que foi de grande ajuda na elaboração deste e de outros trabalhos.

Aos meus amigos da Universidade, os amigos da república prainha e muita raça, que me ajudaram a crescer e amadurecer.

## RESUMO

O presente trabalho consistiu na estimação da vazão máxima ( $Q_{\text{máx}}$ ) e a lâmina de escoamento superficial (LES) em microbacia hidrográfica localizado no município de Alegre, sob diferentes condições de uso da terra (café, pastagem, reflorestamento de espécies nativas e floresta nativa). Para a estimação da vazão máxima de escoamento superficial foi utilizado o modelo hidrológico HidroBacia e o método Racional, e para estimação da lâmina de escoamento superficial utilizou-se o HidroBacia e o método do Número da Curva. Pode-se concluir que as coberturas vegetais influenciam no escoamento superficial, para o modelo HidroBacia e método do Número da Curva os resultados de maior vazão e lâmina de escoamento superficial foram para café e pastagem e menores valores para reflorestamento e floresta. O método Racional obteve menor resultado de  $Q_{\text{máx}}$  para pastagem, diferente do modelo HidroBacia. Os valores da LES estimados pelo HidroBacia foram menores quando comparados com os resultados do Método do Número da Curva. Embora o método Racional e o método do Número da Curva sejam mais fáceis de aplicação, devem ser usados cuidadosamente, devido às simplificações de dados necessários para aplicação. Já o HidroBacia, permite considerar detalhadamente a topografia do terreno e a variabilidade espacial das características físicas da bacia hidrográfica em suas simulações hidrológicas. Dessa forma, quando se têm disponíveis todos os dados de entrada para a aplicação de tal modelo, consideram-se os resultados mais coerentes e confiáveis do que os obtidos com outros métodos tradicionalmente utilizados.

Palavras-chaves: Escoamento superficial; modelos hidrológicos; cobertura vegetal; vazão máxima; lâmina de escoamento superficial.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVOS .....	3
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	3
1.1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	3
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 BACIA HIDROGRÁFICA .....	4
2.2 ESCOAMENTO SUPERFICIAL .....	5
2.3 COBERTURA VEGETAL VS. ESCOAMENTO SUPERFICIAL .....	6
2.4 MODELOS HIDROLÓGICOS .....	8
2.4.1 HIDROBACIA .....	8
2.4.2 MÉTODO RACIONAL .....	9
2.4.3 MÉTODO DO NÚMERO DA CURVA .....	9
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	11
3.1 HIDROBACIA.....	12
3.2 MÉTODO RACIONAL.....	17
3.3 MÉTODO DO NÚMERO DA CURVA.....	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
5 CONCLUSÕES .....	28
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	29
APÊNDICE .....	33

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema representando o ciclo hidrológico. Fonte: Adaptado de Silva Filho (1998). .....	4
Figura 2. Vista parcial da microbacia utilizado no estudo, localizada no município de Alegre, ES. ....	11
Figura 3. Modelo digital de elevação em 3D da microbacia hidrográfica localizada no município de Alegre, ES. Exemplificando a estrutura matricial temáticas. ....	13
Figura 4. Modelo digital de elevação da microbacia estudada localizada no município de Alegre, ES. ....	22
Figura 5. Curvas de retenção de água no solo, ajustadas pelo modelo de Brooks e Corey (1964), para os quatros tipos de cobertura vegetal testado. ....	23



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados de entrada obtidos no banco de dados do HidroBacia para diferentes uso do solo. ....	14
Tabela 2. Dados físicos do solo utilizados no HidroBacia. ....	17
Tabela 3. Características físicas da bacia hidrográfica utilizadas para determinação do número da curva.....	20
Tabela 4. Características físicas do solo para os quatro tipos de cobertura vegetal adotados..	22
Tabela 5. Parâmetros do ajuste do modelo de Brooks e Corey (1964), das curvas de retenção de água no solo. ....	24
Tabela 6. Vazão máxima de escoamento superficial ( $m^3/s$ ) estimada pelo modelo HidroBacia e método Racional. Eq. 2 e Eq. 6 referem-se a utilização do HidroBacia de acordo com Cecílio (2005) e Rawls e Brakesiek (1983) respectivamente.....	24
Tabela 7. Lâmina de escoamento superficial (mm) estimada pelo modelo HidroBacia e método do Número da Curva. Eq. 2 e Eq. 6 referem-se a utilização do HidroBacia de acordo com Cecílio (2005) e Rawls e Brakesiek (1983) respectivamente. ....	26
Tabela 8. Curvas de retenção de água no solo.....	33

# 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se visto uma maior preocupação em relação aos recursos hídricos no mundo, por esse ser um recurso natural fundamental que pode se tornar escasso. No Brasil, há problemas relacionados à quantidade disponível para uso e qualidade dos recursos hídricos, isso por falta de uma adequada gestão.

O tempo em que a água permanece nas diversas partes da hidrosfera influencia, entre outros, a disponibilidade hídrica, a ocorrência de inundações e escassez, bem como a dinâmica de elementos, nutrientes e poluentes no ambiente. A importância dessas inter-relações é responsável pelo interesse em estudos hidrológicos (MORAES, 2003). É crescente nos últimos anos o número de aplicações e desenvolvimentos voltados à análise dos recursos hídricos (CAVALCANTE, 2013).

As águas provenientes da precipitação tem se transformado em escoamento superficial, isso devido ao incorreto manejo do solo, ocasionando redução no volume de água que infiltra e abastece o lençol freático, as nascentes e os cursos d'água, além do aumento da erosão hídrica. A falta de infiltração da água precipitada nas propriedades rurais possui relação direta com tais problemas.

Dentre os problemas causados pelo escoamento superficial, destaca-se a erosão hídrica do solo. Este processo promove o transporte de substâncias químicas e orgânicas para os corpos d'água, provocando sua poluição e contaminação, dificultando o tratamento da água para consumo e reduzindo seu potencial de geração de energia elétrica, elevando, conseqüentemente, o custo destes serviços e produtos. A contaminação dos corpos d'água se reflete, ainda, diretamente na saúde dos seus usuários, bem como na redução da vida aquática, provocando desequilíbrios ambientais (RAUHOFER et al., 2001).

Sobre a disponibilidade hídrica, sabe-se, que as vazões dos cursos d'água em períodos de estiagem dependem da água que infiltra no solo e abastece os aquíferos subterrâneos, portanto, a melhoria das condições de infiltração de água no solo é essencial para o aumento da disponibilidade hídrica nesses períodos (BRANDÃO et al., 2006). O uso adequado do solo, favorecendo a infiltração, permite também um maior controle das oscilações das vazões nos cursos d'água, à medida que diminui as

vazões máximas produzidas nestes e possibilita o armazenamento de um maior volume de água no solo, a ser disponibilizado nos períodos de estiagem.

Mudanças na cobertura vegetal causadas por desmatamento ou rotação de culturas podem acarretar impactos ambientais negativos. Segundo Tucci (2002) a literatura é unânime em experimentos, demonstrando que o desmatamento produz aumento de escoamento superficial.

O tipo de cobertura superficial do solo é fator determinante no processo de infiltração, destacando a importância da manutenção da cobertura vegetal para a conservação do solo e recursos hídricos. A cobertura vegetal é responsável pelo aumento da macroporosidade da camada superficial, aumentando a condutividade hidráulica do solo. Também protege os agregados do impacto direto das gotas de chuva, reduzindo assim o encrostamento superficial. Desta forma a cobertura vegetal é capaz de manter altas taxas de infiltração e diminuir perdas de água e solo (BRANDÃO et al., 2006). De acordo com Pruski et al. (2003), todos os fatores que influenciam a taxa de infiltração da água no solo interferem, também, no escoamento superficial.

Diante do exposto, ressalta-se a importância dos estudos relacionados à compreensão dos processos hidrológicos regionais, visando o desenvolvimento e calibração de modelos, bem como a quantificação da disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas, a fim de subsidiar as tomadas de decisão na gestão integrada dos recursos hídricos e ambientais.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar a influência de diferentes tipos de uso da terra na vazão máxima e lâmina de escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica rural localizada no município de Alegre, ES, a partir de estimativas de modelos hidrológicos.

### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1.1.2.1 Obter os dados necessários do solo, da vegetação e da topografia da microbacia hidrográfica.

1.1.2.2 Aplicar o Método Racional para estimar a vazão máxima, o Método do Número da Curva para estimar a lâmina de escoamento superficial e o modelo hidrológico HydroBacia para estimar a vazão máxima e a lâmina de escoamento superficial da microbacia, e comparar os métodos Racional e Número do Curva com o modelo HydroBacia, considerando quatro condições de uso da terra: pastagem, cafeicultura, reflorestamento e floresta.

1.1.2.3 Analisar os resultados obtidos, visando identificar o efeito dos diferentes tipos de uso da terra testados na produção de escoamento superficial na área estudada, usando vazões simuladas por modelos hidrológicos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Bacia hidrográfica

O ciclo hidrológico (Figura 1) compreende a circulação da água entre a superfície terrestre e a atmosfera em várias fases: precipitação, infiltração de água no solo, transpiração, evaporação e escoamento superficial.

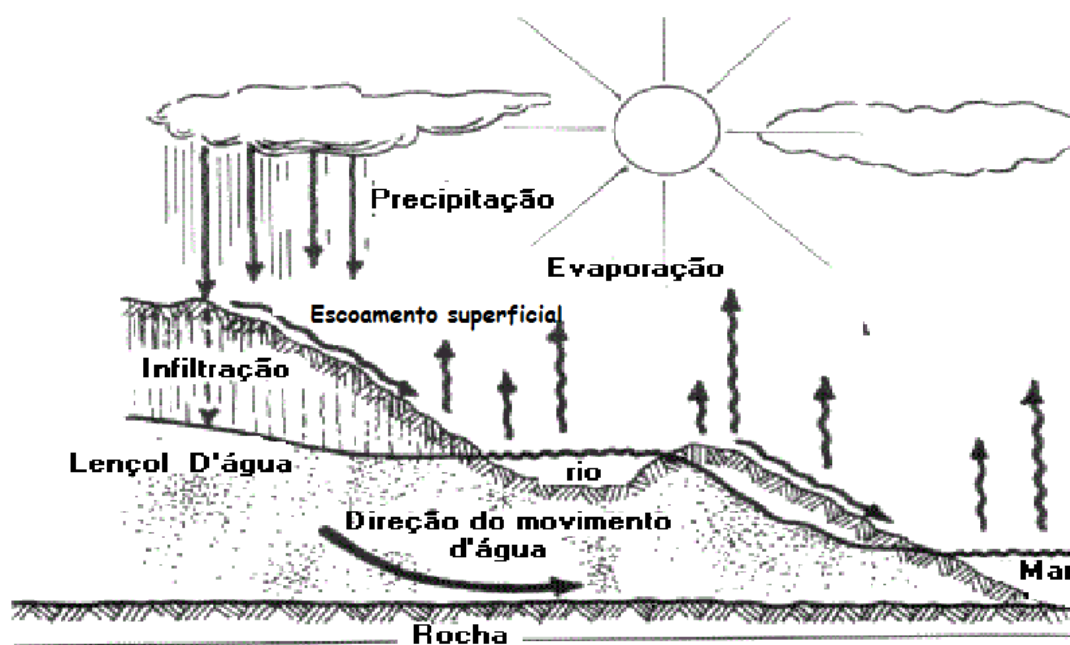


Figura 1. Esquema representando o ciclo hidrológico. Fonte: Adaptado de Silva Filho (1998).

Bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. Compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (TUCCI, 1997).

O monitoramento de bacias hidrográficas pode fornecer indicações a respeito de mudanças desejáveis ou indesejáveis que estejam ocorrendo com os recursos hídricos, como consequência de práticas de manejo. Podem-se identificar várias práticas que prejudicam a sustentabilidade, podendo estas práticas ocorrer em diferentes escalas. Na escala micro, ou seja, na escala da propriedade rural, a compactação, a destruição

da matéria orgânica e a destruição da microbiologia do solo são alguns exemplos de consequências de práticas de manejo inadequadas que degradam o mais importante fator hidrológico da manutenção dos recursos hídricos, que é o processo de infiltração de água no solo. Na escala meso, que é a própria escala da microbacia hidrográfica, pode-se identificar outros indicadores de sustentabilidade dos recursos hídricos. Por exemplo, o traçado de estradas, não levando em conta as características da bacia, sempre constitui um foco permanente de erosão, degradando tanto o potencial produtivo do solo, como a qualidade da água. Finalmente, numa escala macro ou regional, um indicador de sustentabilidade dos recursos hídricos seria, por exemplo, a própria disponibilidade natural de água, a qual pode ser quantificada pelo balanço hídrico (Lima, 2000).

Dentre os componentes do ciclo hidrológico, a infiltração de água no solo e o escoamento superficial são, provavelmente, os mais sensíveis às ações antrópicas, referentes ao inadequado uso e gerenciamento dos recursos hídricos. Estimativas do escoamento superficial são importantes para se verificar o risco da ocorrência de erosão (YOUNG et al., 2002) e, ou, de enchentes.

## **2.2 Escoamento superficial**

O escoamento superficial é uma das fases do ciclo hidrológico e consiste no deslocamento da água sobre a superfície do solo, ocorrendo quando a água originada de uma chuva intensa escoar livremente sobre a superfície do solo, drenada por forças gravitacionais (PRUSKI et al., 2003).

Com o aumento da intensidade, duração da precipitação e da área abrangida pela precipitação o escoamento superficial tende a aumentar (PRUSKI et al., 2003). Os valores máximos de escoamento superficiais estimados são necessários tanto em bacias hidrográficas com ocupação agrícola e em bacias com ocupação urbanas (BONTA & RAO, 1992). É necessário em estudos sobre manejo e conservação do solo e da água, para determinar a eficiência dos métodos de preparo e manejo do solo. (PATHAK et al., 1989). São também necessárias em projetos de obras hidráulicas como barragens, canais, bueiros, vertedores, pontes e estruturas destinadas ao controle

da erosão hídrica. Já os valores da lâmina de escoamento superficial são necessário no planejamento de irrigação suplementar.

Diversos autores (BERTOL et al., 1989; SILVA et al., 2001; TUCCI, 2002) descrevem os fatores que influenciam o escoamento superficial, como fatores climáticos (intensidade da chuva, duração da chuva, chuva antecedente) e fatores fisiográficos (área da bacia, forma da bacia, permeabilidade do solo, topografia). A vegetação influencia diretamente no escoamento superficial. Quanto menor a cobertura vegetal, maior o escoamento (BRUIJNZEEL, 1996).

Um dos processos que provocam a erosão hídrica é o escoamento superficial. Este gera o transporte de partículas do solo em suspensão, matéria orgânica, fertilizantes químicos, sementes e agrotóxicos, que provocam prejuízos a produção agrícola e podem causar poluição dos cursos d'água (BRAGA, 2000). Essa perda de água e solo nas bacias de acordo com Zanetti et al. (2012) pode provocar enchentes nas épocas chuvosas e escassez de água em períodos de estiagem, causando grandes impactos negativos, tanto na zona rural como na urbana. Por isso, tornam-se importantes os estudos e acompanhamentos de vazões superficiais em bacias hidrográficas no sistema agrícola.

Existe uma demanda por estudos e métodos que permitam estimar o volume e a vazão máxima de escoamento superficial em bacias hidrográficas, considerando o efeito dos diversos fatores que interferem no processo de produção de escoamento, tendo em vista o fato de que os métodos desenvolvidos em outros países apresentam limitações quanto a sua aplicação nas condições edafoclimática brasileiras (ZANETTI et al., 2009).

### **2.3 Cobertura vegetal vs. escoamento superficial**

Da precipitação que atinge o solo, uma parcela pode infiltrar ou escoar superficialmente, de acordo com a capacidade de infiltração do solo, que depende do tipo e uso do solo (PRITCHETT, citado por Tucci (2002)).

O uso do solo diz respeito, por exemplo, ao grau de encrostamento da superfície, o qual resulta, em geral, na diminuição da capacidade de infiltração de água no solo, e

consequentemente aumentando o escoamento superficial, o pico de cheia, a sedimentação dos cursos d'água, a poluição da água, entre outros (LIMA, 2008).

De acordo com Pruski et al. (2003), a cobertura vegetal e os tipos de uso do solo, além de seus efeitos sobre as condições de infiltração da água no solo, exercem importante influência na interceptação da água advinda da precipitação. Quanto maior a porcentagem de cobertura vegetal e rugosidade da superfície do solo, menor o escoamento superficial.

Em solos com a superfície desprotegida ocorre encrostamento superficial, que pode drasticamente diminuir a sua capacidade de infiltração. Já em solos com floresta, geralmente a capacidade de infiltração é maior, devido ao aumento da macroporosidade da camada superficial, aumentando assim a condutividade hidráulica do solo, além de proteger os agregados do impacto direto das gotas da chuva, reduzindo assim o encrostamento superficial (TUCCI & CLARKE, 1997).

Segundo Tucci (2002), como desmatamento ocorre aumento do escoamento superficial pela redução da evapotranspiração. Este aumento é maior de acordo com a substituição da cobertura vegetal.

O corte raso da floresta, além da diminuição da evapotranspiração, pode acarretar, também, modificações no microclima da área cortada, com possíveis efeitos sobre a hidrologia local em termos de escoamento superficial, erosão, ciclagem de nutrientes, entre outros (LIMA, 2008).

A alteração da superfície da bacia (cobertura vegetal) pode acarretar impactos negativos, como aumento do escoamento superficial. Esse impacto normalmente é caracterizado no comportamento das vazões, ocorrendo aumento das vazões máximas, causando enchentes e diminuição das vazões mínimas causando escassez de água em épocas de estiagens, e aumento da vazão média mais com uma distribuição pior dos valores de vazão, maiores picos de vazão máxima e vazões mínimas (TUCCI, 2002).



## 2.4 Modelos hidrológicos

Os modelos hidrológicos são ferramentas extremamente úteis que permitem, através da equacionalização dos processos, representar, entender e simular o comportamento de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 1998).

Os modelos hidrológicos tem se tornado ferramentas de planejamento e decisão, além das clássicas funções de avaliações hidrológicas e, como tal, devem ser estruturados de forma simples para permitir sua utilização por diversos usuários. A estimativa do escoamento superficial é essencial para a avaliação do potencial de rendimento de água em uma bacia hidrográfica, bem como, no planejamento de medidas de conservação do solo e água, redução do assoreamento e riscos de inundações a jusante (MUNOZ-ROBLES et al., 2011).

Na sequência são descritos alguns modelos usados na estimação do escoamento superficial.

### 2.4.1 HidroBacia

O HidroBacia (SILVA, 2002) é um modelo hidrológico com parâmetros distribuídos, que possibilita a realização do balanço hídrico e a obtenção do hidrograma de escoamento superficial, da vazão máxima e do volume escoado para qualquer posição de uma bacia hidrográfica, tendo em vista os processos de precipitação, evapotranspiração, interceptação pela cobertura vegetal, armazenamento superficial, infiltração da água no solo e escoamento superficial.

O programa computacional HidroBacia, desenvolvido por Silva (2002) e posteriormente aprimorado por Zanetti et al. (2009), permite considerar a variabilidade espacial dos parâmetros da bacia que interferem no processo de obtenção do hidrograma de escoamento superficial.

### 2.4.2 Método Racional

O método Racional pode ser aplicado em bacias hidrográficas pequenas, com no máximo 500 hectares de área. Esse método permite determinar a vazão máxima de escoamento superficial a partir de dados de chuva (PRUSKI et al., 2003).

Considera-se no método, como princípio básico, que a vazão máxima, provocada por uma chuva de intensidade uniforme, ocorre quando toda a bacia contribui simultaneamente com o escoamento na seção de deságue. A complexidade real do processo de escoamento superficial é ignorada, desprezando tanto o armazenamento de água na bacia quanto às variações da intensidade de precipitação e do coeficiente de escoamento superficial durante a precipitação (PRUSKI et al., 2003).

O método Racional deve ser utilizado de forma cuidadosa, pois envolve o uso de coeficientes de grande subjetividade e simplificações, assim quanto maior for a área da bacia maior será a imprecisão do emprego do método (PRUSKI et al., 2003). O Método Racional é largamente utilizado na determinação da vazão máxima de projeto para pequenas bacias hidrográficas ( $\leq 2 \text{ km}^2$ ) (TUCCI 2002).

### 2.4.3 Método do Número da Curva

O Método do Número da Curva permite estimar a lâmina de escoamento superficial (volume de escoamento por unidade de área). Foi desenvolvido pelo Soil Conservation Service (1972), vinculado ao Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS-USDA), estima a lâmina escoada com base no Número da Curva (NC), onde cada bacia apresenta características particulares de uso e manejo da terra, condição hidrológica e umidade antecedente que culminam em apresentar um comportamento não linear específico da capacidade máxima de infiltração (PRUSKI et al., 2003).

É um método simples e largamente utilizado em modelos hidrológicos de bacias hidrográficas no mundo. O método do SCS baseia-se no conceito de que a lâmina de escoamento superficial produzida em um dado evento é uma função da altura total da lâmina precipitada e das abstrações iniciais, que representa as perdas que ocorrem,

principalmente, devido a infiltração, a interceptação vegetal e a retenção em depressões do terreno (TYAGI et al., 2008).

No Método do SCS, o parâmetro que caracteriza o uso e ocupação do solo é o NC. Os valores de NC são obtidos para cada uso e cobertura do solo em tabela padrão do SCS. As tabelas foram desenvolvidas para as condições de uso e cobertura do solo dos EUA, em conjunto com quatro grupos de solos classificados de acordo com a taxa de infiltração, textura e estrutura. (NRCS, 2007; LIMA et al., 2007).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido com dados obtidos em uma microbacia hidrográfica experimental. A microbacia (Figura 2) localiza-se próximo ao Campus do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES-ES), município de Alegre-ES, pertencente ao córrego Horizonte, bacia hidrográfica do rio Itapemirim, a qual é utilizada como pastagem, com área de 26,62 hectares, onde possui algumas nascentes.



Figura 2. Vista parcial da microbacia utilizado no estudo, localizada no município de Alegre, ES.

Foram aplicados o modelo hidrológico HidroBacia para estimar a vazão máxima e lâmina de escoamento superficial, o Método Racional para estimar a vazão máxima e o Método do Número da Curva para estimar a lâmina de escoamento superficial na microbacia. Tais modelos foram aplicados considerando quatro diferentes cenários de uso da terra: pastagem (condição real da microbacia);

cafeicultura; floresta já em estágio avançado e reflorestamento de nativas com quatro anos de plantio. O escoamento estimado foi comparado entre essas quatro condições de cobertura do solo.

Para aplicação dos métodos, foram coletados dados sobre as características físicas do solo. Para as culturas de café, reflorestamento e floresta usaram-se áreas próximas a microbacia de pastagem.

Para a realização dos cálculos, foi admitido que, durante a chuva intensa de projeto, o solo da microbacia encontra-se com umidade elevada, equivalente à umidade da capacidade de campo, estando, portanto, aproximadamente com taxa de infiltração estável ( $T_{ie}$ ), que ocorre após longo tempo de infiltração, e correspondente à condição mais favorável à ocorrência do maior volume e vazão máxima de escoamento superficial (PRUSKI et al., 2003). Não teve valores medidos (reais) para comparação.

### 3.1 HidroBacia

Para aplicação do modelo HidroBacia 1.1, disponível no site do grupo de pesquisa em recursos hídricos da Universidade Federal de Viçosa, foram necessárias informações das seguintes características físicas do solo: capacidade de campo, ponto de murcha, umidade inicial do solo, umidade do solo saturado, potencial matricial na frente de umedecimento, e taxa de infiltração estável. Esta última foi determinada em testes de campo, enquanto as demais foram determinadas por meio de amostragens de solo e análise em laboratório de física do solo. Além dessas, necessitou-se do ICV (capacidade de interceptação máxima de água da chuva pela cobertura vegetal, mm); ARM (capacidade de armazenamento máximo de água sobre a superfície do solo, mm);  $n$  (coeficiente de rugosidade de Manning,  $s\ m^{-1/3}$ ), obtidos no banco de dados do HidroBacia.

As imagens temáticas utilizados no HidroBacia, modelo digital de elevação (MDE), a direção de escoamento e a drenagem, foram preparadas de forma que a área da microbacia fosse dividida em células quadradas (Figura 3), dispostas em linhas e colunas, formando uma imagem matricial (*raster*). Tal procedimento permite

considerar a variabilidade espacial das características da bacia (elevação, declividade, hidrografia, cobertura vegetal, tipo e uso do solo etc.), uma vez que cada célula das imagens será constituída por uma linha  $i$  e coluna  $j$ , referentes a sua posição geográfica em relação a superfície terrestre, e um atributo  $z$ , referente ao parâmetro do terreno a ser representado.

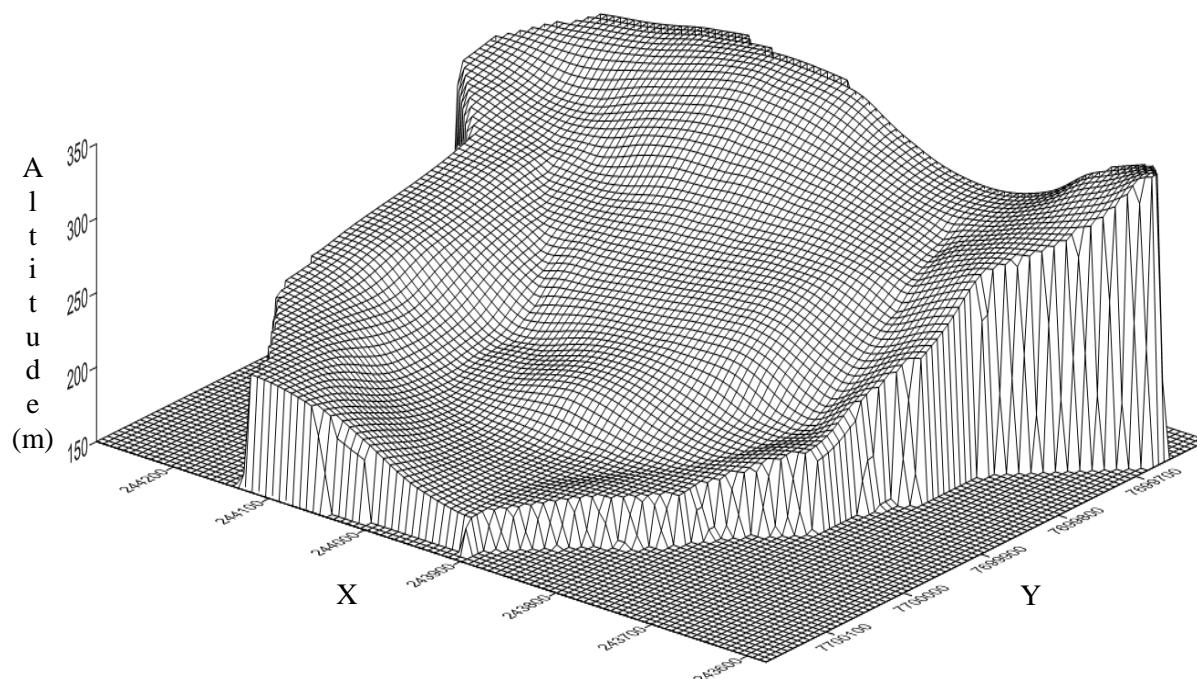


Figura 3. Modelo digital de elevação em 3D da microbacia hidrográfica localizada no município de Alegre, ES. Exemplificação da estrutura matricial dos mapas temáticos.

Os dados de ICV, ARM, e  $n$  (Tabela 1) foram obtidos a partir do banco de dados existente no próprio programa HidroBacia, em função dos tipos de uso (cobertura vegetal) e manejo do solo existentes na microbacia, e das respectivas condições médias de rugosidade e declividade do solo.

Tabela 1. Dados de entrada obtidos no banco de dados do HidroBacia para diferentes uso do solo.

Cobertura do solo	ICV (mm)	ARM (mm)	n
Café	1,8	1,05	0,12
Pastagem	1,1	1,05	0,10
Reflorestamento	2,5	1,05	0,15
Floresta	2,5	1,05	0,20

ICV: lâmina máxima de interceptação pela cobertura vegetal; ARM: armazenamento máximo de água na superfície do solo; e n: coeficiente de rugosidade do terreno.

No HidroBacia, a taxa de escoamento superficial é calculada pela diferença entre a intensidade de precipitação e a taxa de infiltração de água no solo. Segundo Brandão et al., (2006), a infiltração da água no solo pode ser representada por modelos teóricos e, ou, empíricos. O HidroBacia utiliza o modelo teórico de Green-Ampt (Green e Ampt, 1911), o qual se destaca dos demais por se basear numa análise física do processo, exprimindo a infiltração em função de parâmetros físicos do solo, conforme apresentado na Equação 1:

$$T_i = K_s \left[ 1 + P_m \frac{(\theta_s - \theta_i)}{I} \right] \quad (1)$$

Em que:  $T_i$  = taxa de infiltração de água no solo,  $\text{mm h}^{-1}$ ;  $K_s$  = condutividade hidráulica do solo saturado,  $\text{mm h}^{-1}$ ;  $P_m$  = potencial matricial do solo na frente de umedecimento,  $\text{mm.c.a.}$ ;  $\theta_s$  = umidade do solo saturado,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ;  $\theta_i$  = umidade do solo no início do processo de infiltração,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ; e  $I$  = infiltração acumulada,  $\text{mm}$ .

A condutividade hidráulica utilizada não foi  $K_s$ , e sim a condutividade hidráulica relativa à umidade da zona de transmissão ( $K_w$ ), uma vez que a existência de bolhas de ar no solo que podem impedir a completa saturação durante o processo de infiltração de água (Wilson e Oduro, 2004). O mesmo ocorre para a umidade de saturação  $\theta_s$ , usando umidade da zona de transmissão  $\theta_w$ . Para o estudo foi utilizado  $\theta_w = 0,85 \theta_s$ , que apresentou melhor desempenho para Zanetti (2007).

O valor de  $\theta_i$  adotado foi igual à capacidade de campo, pois para ocorrência de maior volume e vazão máxima de escoamento superficial admite-se que a umidade do solo esteja elevada, equivalente à umidade referente à capacidade de campo, estando, portanto, aproximadamente, com taxa de infiltração estável ( $T_{ie}$ ), que ocorre após longo tempo de infiltração (PRUSKI et al., 2003).

O  $P_m$  utilizado foi calculado pela equação proposta por Cecílio (2005) (Equação 2) e Rawls & Brakensiek (1983) (Equação 6) e testados no HidroBacia, as quais apresentaram melhores resultados no estudo realizado por Zanetti (2007).

A Equação 2, proposta por Cecílio (2005), relaciona  $P_m$  com a umidade do solo:

$$P_m = \frac{\psi_b (2 + 3\lambda) \left[ K_r(\theta_w)^{\frac{3\lambda+1}{3\lambda+2}} - K_r(\theta_i)^{\frac{3\lambda+1}{3\lambda+2}} \right]}{[K_r(\theta_w) - K_r(\theta_i)](3\lambda + 1)} \quad (2)$$

Em que,  $\psi_b$  = potencial matricial de entrada de ar, cm;  $K_r$  = condutividade hidráulica relativa, adimensional;  $\theta_w$  = umidade do solo na zona de transmissão,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ;  $\theta_i$  = umidade do solo no início do processo de infiltração,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ;  $\lambda$  = índice de distribuição de tamanho de poros, adimensional;

Para cálculo do potencial matricial ( $\psi_b$ ) utilizou a Equação 3, citada por Brandão et al., (2006):

$$\psi_b = \frac{1}{\alpha} \quad (3)$$

Em que,  $\alpha$ : parâmetro de ajuste do modelo de Brooks e Corey (1964), adimensional.

Os parâmetros  $K_r(\theta_w)$  e  $K_r(\theta_i)$  da Equação 2, foram obtidos calculando-se os valores de  $\psi$  relativos às umidades  $\theta_w$  e  $\theta_i$  pela Equação 4.



$$K_r(\psi) = \left( \frac{\psi_b}{\psi} \right)^n \quad (4)$$

Em que,  $n = 2 + 3\lambda$ ,  $\psi = \frac{\psi_b}{Se^{\frac{1}{\lambda}}}$ ,  $Se = \frac{\theta - \theta_r}{\phi - \theta_r}$ ,  $\psi$  = potencial matricial;  $\theta$  = umidade volumétrica,  $\phi$  = porosidade total (considerou  $\phi = \theta_w$ ),  $\theta_r$  = umidade residual do solo.

O software utilizado para obtenção dos parâmetros da equação de Brooks e Corey (1964) (Equação 5), citado por Brandao et al., (2006), foi o *Soil Water Retention Curve* (SWRC).

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(\alpha\psi)^\lambda} \quad (5)$$

A Equação 6, desenvolvida por Rawls & Brakensiek (1983), também foi utilizada para cálculo do  $P_m$ :

$$P_m = 0,01 e^\alpha \quad (6)$$

$$\alpha = 6,531 - 7,33 \theta_w + 15,8 A_g^2 + 3,81 \theta_w^2 + 3,4 A_r A_g - 4,98 A_r \theta_w + 16,1 A_r^2 \theta_w^2 + 16 A_g^2 \theta_w^2 - 14 A_r^2 A_g - 34,8 A_g^2 \theta_w - 8 A_r^2 \theta_w$$

Em que,  $A_g$  = teor de argila no solo, decimal;  $A_r$  = teor de areia no solo, decimal; e  $\theta_w$  = umidade do solo na zona de transmissão.

No programa HidroBacia, a condutividade hidráulica do solo foi substituída pela taxa de infiltração estável de água no solo ( $T_{ie}$ ). A  $T_{ie}$  foi mensurada em campo usando o método do infiltrômetro de anéis (Tabela 2). O valor da  $T_{ie}$  obtida no campo foi dividido por 6, devido ao fato do método infiltrômetro de anel superestimar o valor real da infiltração, conforme relatado por diversos autores Brandão et al., (2006).

Na Tabela 2 são apresentados os dados referente ao solo usado no programa HidroBacia.

Tabela 2. Dados físicos do solo utilizados no HidroBacia.

Cobertura do solo	$T_{ie}$ (mm h <sup>-1</sup> )	$\theta_s$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	$\theta_i$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	$P_m$ (mm.c.a)	
				Eq. 2	Eq. 6
Café	117	0,467	0,148	118	49
Pastagem	60	0,54	0,275	471	89
Reflorestamento	129	0,415	0,207	1021	250
Floresta	140	0,411	0,285	453	214

$T_{ie}$ : taxa de infiltração estável;  $\theta_s$ : umidade de saturação;  $\theta_i$ : umidade inicial; e  $P_m$ : potencial matricial do solo na frente de umedecimento.

O tempo de retorno para as simulações com o HidroBacia foi de 50 anos e a duração da precipitação considerada foi de 45 minutos, afim obter maiores estimativas de  $Q_{m\acute{a}x}$  e LES.

Com os dados de entrada: características físicas do solo da microbacia, dados existentes no banco de dados do HidroBacia, e a partir de eventos de precipitação fornecidos ao modelo, o HidroBacia foi utilizado para simular a lâmina de escoamento superficial e vazão máxima de escoamento superficial, nas quatro condições de cobertura do vegetal.

A metodologia utilizada no modelo hidrológico HidroBacia 1.1 encontra-se descrita de forma mais detalhada em Zanetti (2007).

### 3.2 Método Racional

A equação utilizada para estimação da vazão máxima pelo Método Racional é expressa pela Equação 7:

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{C i_m A}{360} \quad (7)$$

Em que:  $Q_{\text{máx}}$  = vazão máxima de escoamento superficial,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ;  $C$  = coeficiente de escoamento superficial, adimensional;  $i_m$  = intensidade máxima média de precipitação,  $\text{mm h}^{-1}$ ;  $A$  = área da microbacia, ha.

Muitos são os procedimentos disponíveis para a obtenção do valor do coeficiente de escoamento superficial,  $C$ , no entanto, a principal forma utilizada é a consulta a tabelas que permitem obter este valor a partir das condições típicas da área analisada. Neste caso, o coeficiente de escoamento foi calculado em relação aos quatros tipos de cobertura vegetal, baseando-se nos dados recomendados pelo SCS-USDA (PRUSKI et al., 2003).

O valor de  $i_m$  foi calculado a partir da equação de chuvas intensas (Equação 8). O parâmetros  $K$ ,  $a$ ,  $b$  e  $c$ , para o distrito de Rive, foram obtidos no banco de dados incluído no próprio programa HidroBacia, tendo apresentado os valores de 1497,781; 0,258; 19,294 e 0,855, respectivamente.

$$i_m = \frac{KT^a}{(t+b)^c} \quad (8)$$

Em que:  $T$  = período de retorno, anos; e  $t$  = duração da precipitação, min.

O valor de  $t$  foi considerando equivalente ao tempo de concentração ( $t_c$ ) da bacia, pois a vazão máxima de escoamento superficial tende a ocorrer quando toda a bacia contribui com o escoamento resultante de uma chuva intensa. Segundo Smedema e Rycroft (1983) o tempo de concentração pode ser obtido pela relação entre a distância percorrida e a velocidade do escoamento superficial; desta forma, o tempo de concentração ( $t_c$ ) foi calculado pelo método cinemático, fornecida pela equação SCS (Equação 9).

$$t_c = \frac{100}{60} \sum \frac{Li}{Vi} \quad (9)$$

Em que:  $L_i$  = comprimento de cada trecho percorrido pelo escoamento superficial, km;  
e  $V_i$  = velocidade do escoamento em cada trecho, m/s.

O tempo de retorno para as simulações com o método Racional foi de 50 anos. O tempo de concentração calculado pelo método cinemático utilizado no método Racional foi de 17, 15, 18 e 19 minutos, para café, pasto, reflorestamento e floresta respectivamente.

### 3.3 Método do Número da Curva

A equação utilizada para estimar a lâmina de escoamento superficial é expressa pela Equação 10:

$$LES = \frac{(PT - 0,2S)^2}{(PT + 0,8S)} \quad (10)$$

Em que:  $LES$  = lâmina de escoamento superficial, mm;  $S$  = infiltração potencial, mm;  
e  $PT$  = Precipitação total, mm.

A partir da análise de vários hidrogramas associados a diferentes bacias hidrográficas, o SCS-USDA desenvolveu a seguinte relação onde o valor de  $S$  é calculado pela Equação 11:

$$S = \frac{25400}{NC} - 254 \quad (11)$$

Em que  $NC$  é o número da curva, cujo valor pode variar entre 1 e 100, em função do uso e manejo da terra, grupo de solo, condição hidrológica e umidade antecedente do solo.

A precipitação total foi calculada pela Equação 12.

$$PT = \frac{i_m t}{60} \quad (11)$$

Em que:  $t$  = duração da precipitação, min;  $i_m$  = intensidade máxima média de precipitação.

A duração da precipitação da chuva utilizada para o cálculo da LES pelo Método do Número da Curva foi de 6 horas. Para a determinação da lâmina de escoamento superficial pelo Método do Número da Curva, é necessário que o projetista conheça a precipitação total e sua respectiva duração (normalmente 6, 12 ou 24 h) (ZANETTI 2007). O tempo de retorno foi também de 50 anos. O valor de  $i_m$  foi calculado a partir da equação de chuvas intensas (Equação 8), resultando em uma precipitação total de  $59,36 \text{ mm h}^{-1}$ .

O valor do número da curva foi obtido a partir de tabelas sugeridas por Mockus (1972), considerando-se as diferentes condições de superfície e tipos de solo da bacia hidrográfica, (Tabela 3).

Tabela 3. Características físicas da bacia hidrográfica utilizadas para determinação do número da curva.

Cobertura	Uso do solo	Tratamento	CH	CN
Pastagem	Pastagem para pastoreio	-	Regular	69
Café	Cultivo em fileiras	Curvas de nível	Boa	75
Reflorestamento	Reflorestamento	-	Má	66
Floresta	Floresta	-	Boa	55

CH: condição hidrológica; e NC: número da curva (AMC II).

O solo foi classificado como pertencente ao tipo B, de acordo com Pruski et al. (1997). Onde classificam o solo em função da taxa de infiltração de água. A taxa de infiltração medida pelo método do anel volumétrico para as referidas utilização do solo ficou entre  $60$  e  $140 \text{ mm h}^{-1}$ , que encontra-se dentro dos intervalos propostos para referida classe.

Para cada simulação da lamina de escoamento superficial, o valor do número da curva foi corrigido de acordo com condição de umidade antecedente (AMC II para

AMC III), visando representar a condição de solo com alta umidade e com máxima lâmina de escoamento superficial pretendida para o presente estudo. Para correção, foram utilizadas as tabelas sugeridas por Tucci (2002).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos sobre as características físicas do solo, referente aos quatro tipos de cobertura vegetal estudado, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Características físicas do solo para os quatro tipos de cobertura vegetal adotados.

Cobertura do solo	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	$D_s$ ( $\text{g cm}^{-3}$ )	$D_p$ ( $\text{g cm}^{-3}$ )	$P_t$ (%)
Café	19	6	75	1,38	2,59	46,72
Pastagem	22	9	69	1,50	2,56	41,41
Reflorestamento	35	11	54	1,49	2,53	41,11
Floresta	42	15	43	1,16	2,53	54,15

$D_s$ : densidade do solo;  $D_p$ : densidade de partícula; e  $P_t$ : porosidade total.

Na Figura 4 tem-se o modelo digital de elevação (MDE) da microbacia estudada, com as latitudes e altitudes, demonstrando também o canal de escoamento até a foz.

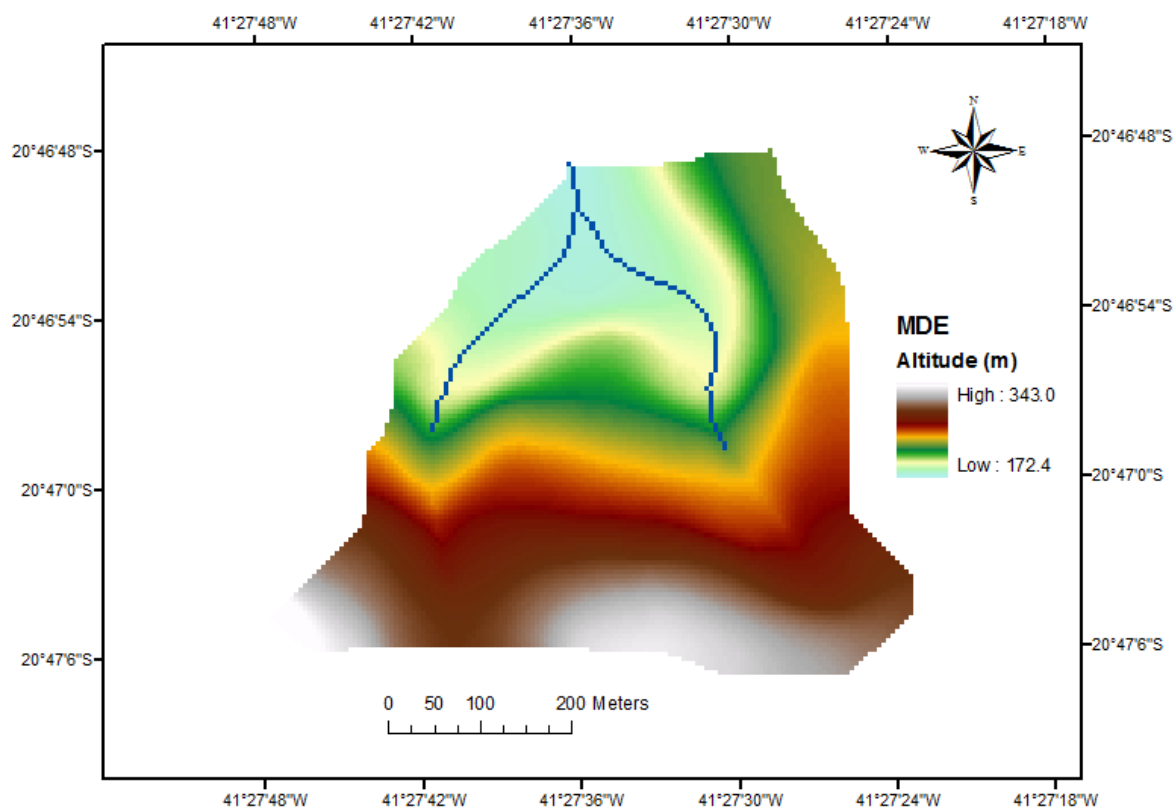


Figura 4. Modelo digital de elevação da microbacia estudada localizada no município de Alegre, ES.

Com os dados do apêndice (Tabela 8), determinaram-se as curvas de retenção de água no solo para os quatro tipos de cobertura vegetal, ajustadas pelo modelo de Brooks e Corey (1964), que estão apresentadas na Figura 5.

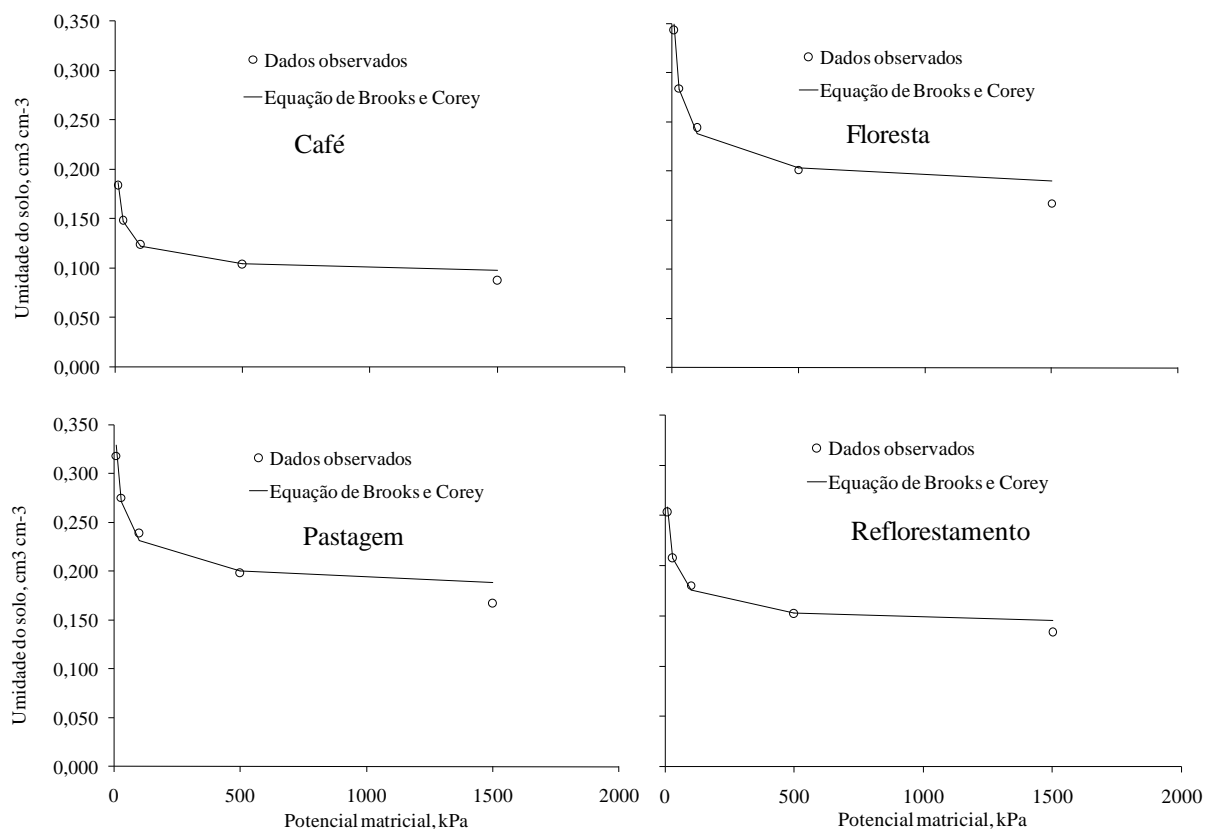


Figura 5 - Curvas de retenção de água no solo, ajustadas pelo modelo de Brooks e Corey (1964), para os quatro tipos de cobertura vegetal testado.

Os parâmetros obtidos a partir do ajuste do modelo de Brooks e Corey (1964) das curvas de retenção de água no solo são observados na Tabela 5. Com esses parâmetros, foi calculado o  $P_m$  utilizado na equação proposta por Cecílio (2005), que foi testado no modelo HidroBacia.



Tabela 5. Parâmetros do ajuste do modelo de Brooks e Corey (1964), das curvas de retenção de água no solo.

Tipo de cobertura	Parâmetros			
	$\alpha$	$\lambda$	$\theta_r$	$\theta_s$
Café	0,1879	0,4568	0,088	0,467
Pastagem	0,0280	0,4035	0,167	0,415
Reflorestamento	0,0527	0,4762	0,134	0,411
Floresta	0,0554	0,4106	0,167	0,540

$\lambda$ : índice de distribuição de tamanho de poros, adimensional,  $\theta_r$ : umidade residual do solo,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ;  $\theta_s$ : umidade do solo na saturação,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ;  $\alpha$ : parâmetros de ajuste do modelo, adimensional.

Os Resultados de  $Q_{\text{máx}}$  e LES encontrados pelo HidroBacia utilizando o  $P_m$  calculado pela Equação 2 de Cecílio (2005) e Equação 6 de Rawls & Brakensiek (1983) estão apresentados nas tabelas 6 e 7. Na Tabela 6 estão os valores de  $Q_{\text{máx}}$  encontrados pelo HidroBacia e pelo método Racional.

Tabela 6. Vazão máxima de escoamento superficial ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) estimada pelo modelo HidroBacia e método Racional. As equações 2 e 6 referem-se a utilização do HidroBacia de acordo com Cecílio (2005) e Rawls e Brakesiek (1983), respectivamente.

Cobertura vegetal	HidroBacia		Método Racional
	Eq. 2	Eq. 6	
Café	9,0	10,9	9,6
Pastagem	9,1	13,7	5,8
Reflorestamento	5,6	7,6	8,7
Floresta	4,1	6,9	6,6

Pode-se observar que a cobertura do solo influencia nos resultados de vazão máxima. Para o HidroBacia teve certa coerência dos resultados, apresentando maiores valores de  $Q_{\text{máx}}$  para café e pastagem e menores valores para reflorestamento e floresta, Tucci et al. (1997) encontrou resultados que comprovam que bacias com mata tende a

ocorrer maior infiltração de água no solo e menor escoamento superficial que bacias desmatada.

A capacidade de infiltração de água nos solos com florestas é alto, o que produz pequena quantidade de escoamento superficial. Nos solos com maior cobertura vegetal, como reflorestamento e floresta, há uma maior macroporosidade da camada superficial e ocorre uma maior interceptação da água proveniente de precipitações no solo pelas folhas e serapilheira, diminuindo a velocidade e o impacto da gota da chuva sobre o solo, ocorrendo assim maior infiltração de água no solo e menor escoamento superficial (PRITCHETT 1979, citado por TUCCI 2002).

O impacto do uso do solo sobre o comportamento hidrológico de bacias rurais é fundamental na preservação e uso dos recursos hídricos (TUCCI et al. 1997). O desmatamento em bacias para utilização de culturas anuais produz aumento do escoamento superficial, gerando assim maiores valores de vazão máxima de escoamento superficial e lâmina de escoamento superficial.

Em relação ao método Racional pode-se observa que o menor valor de  $Q_{\text{máx}}$  estimado foi para pastagem. Esse resultado foi devido aos coeficientes de grande subjetividade utilizados pelo método Racional. Tais coeficientes são obtidos de valores tabelados em função do tipo de cobertura do solo da bacia hidrográfica, o qual se tem dificuldade de encontrar valores compatíveis com as condições de solos brasileiros, além de desconsiderar a influência de muitos componentes do ciclo hidrológico no processo de formação do escoamento superficial, como por exemplo, a interceptação pela cobertura vegetal, o armazenamento superficial, a infiltração, o perfil de precipitação, a rede drenagem e outros. O método deve ser aplicado com cuidados e em pequenas bacias de até 500 hectares (PRUSKI et al., 2003).

Observa-se que o modelo HidroBacia e o método do Número da Curva são influenciados pela cobertura vegetal para estimação da LES (Tabela 7), assim como na estimação da  $Q_{\text{máx}}$ . O solo com reflorestamento ou floresta tende a ter menor LES, quando comparados com café e pastagem.

Tabela 7. Lâmina de escoamento superficial (mm) estimada pelo modelo HidroBacia e método do Número da Curva. As equações 2 e 6 referem-se a utilização do HidroBacia de acordo com Cecílio (2005) e Rawls e Brakesiek (1983), respectivamente.

Cobertura vegetal	HidroBacia		Número da Curva
	Eq. 2	Eq. 6	
Café	44,0	54,1	108,0
Pastagem	45,5	69,1	119,0
Reflorestamento	26,6	37,9	105,0
Floresta	19,9	36,2	82,0

Além da macroporidade e interceptação da chuva serem maiores para áreas com floresta, a rugosidade geralmente é maior comparado com solos de culturas anuais, contribuindo para os resultados encontrados.

Em relação aos métodos, observa-se que os valores da lâmina de escoamento superficial estimado pelo HidroBacia foram inferiores ao método do Número da Curva.

Segundo Zanetti (2012), um dos problemas na utilização do método do Número da Curva é que também não considera o perfil da precipitação na estimativa da LES. Outra limitação é o enquadramento do solo em grupos pré-estabelecidos, onde relaciona a taxa de infiltração de água no solo. Isto possibilita o enquadramento de solos com faixas diferentes de infiltração no mesmo grupo podendo gerar a mesma LES.

Além dessas limitações, a aplicação do método do Número da Curva pode ser incerta, pois foi desenvolvido com dados de pequenas bacias agrícolas do meio-oeste americano. Estudos ainda devem ser conduzidos com a finalidade de melhorar o método para regiões diferentes das quais ele foi desenvolvido, como é o caso do Brasil (ZANETTI et al., 2012).

Pode-se concluir pelos resultados de  $Q_{m\acute{a}x}$  e LES encontrados e de acordo com Tucci (2002) que a floresta tem efeito regularizador da vazão e da lâmina de

escoamento superficial nos períodos extremos, de muita chuva e nos períodos de estiagem.

## 5 CONCLUSÕES

Embora não se tenha dados observados para comparação com os estimados pelos métodos, com base nesse trabalho pode-se concluir que:

- O uso do solo influencia a vazão máxima de escoamento superficial e a lâmina de escoamento superficial, seguindo uma tendência de maior valor para café e pastagem, e menor valor para reflorestamento e floresta.
- O modelo HidroBacia leva em considerações maiores informações da microbacia, sendo assim mais confiável sua aplicação comparados com o método Racional para estimativa da vazão máxima de escoamento superficial e o método do Número da Curva para estimativa da lâmina de escoamento superficial.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTOL, I.; COGO, N.P.; LIEVEN, T. Cobertura morta e métodos de preparo do solo na erosão hídrica e solo com crostasuperficial. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 13, p.373-379, 1989.

BONTA, J.V.; RAO, A.R. Estimating peak flows from small agricultural watersheds. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.118, n.1, p.122-137, 1992.

BRAGA, J.C. **Modelo hidrológico de parâmetros distribuídos para obtenção do hidrograma de escoamento superficial**. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Viçosa - MG, Universidade Federal de Viçosa - UFV, 76p, 2000.

BRANDÃO, V.S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. **Infiltração da água no solo**.3.ed. Viçosa: UFV, 2006. 120 p.

BRITO, L.T.L., LOUREIRO, B.T., DENÍCULI, W.,RAMOS, M.M., SOARES, J.M. **Influência do método na determinação da velocidade de infiltração**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 20(4):503-507. 1996.

BRUIJNZEEL, L.A. Predicting the hydrological impacts of tropical Forest conversion: The need for integrated research. Capítulo 2 de **“Amazonian Deforestation and Climate”** Eds: Gash J H C, Nobre C A, Roberts J M e Victoria R L John Wiley & Co: Chichester, Inglaterra. 1996.

CAVALCANTE, B. L. Verificação do uso do software livre TerraViewHidro para a extração das características físicas da bacia hidrográfica do rio Ipanema. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, 2013.

CECÍLIO, R.A. **Modelagem da infiltração da água no solo fundamentada na equação de Green-Ampt-Mein-Larson**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Viçosa - MG, Universidade Federal de Viçosa - UFV, 151p,2005.

COELHO, R.D.; MIRANDA, J.H.; DUARTE, S.N.. Infiltração da água no solo: parte I - Infiltrômetro de anéis versus infiltrômetro de aspersores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, f. 2, p. 137-141, 2000.

COSTA, E.L.; SILVA, A.M. da; COLOMBO, A.; ABREU, A.R. de. Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuvas e pelo método dos anéis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.2, p.131-4, 1999.

Green, W.H., Ampt, G.A. (1911) Studies on soil physics-1. The flow of air and

water through soils. *Journal of Agricultural Science*, 4(1):1-24.

LIMA, H. M.; VARGAS, H. CARVALHO, J.; GONCALVES, M.; CAETANO, H. Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. **REM: Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 60, n. 3, p. 525-536, 2007.

LIMA, W. P. Importância das Florestas para a produção de água. In: III Simpósio sobre Recuperação da Cobertura Florestal da Bacia do Corumbataí, 2000, Piracicaba. **III Simpósio sobre Recuperação da Cobertura Florestal da Bacia do rio Corumbataí. Piracicaba: IPEF, 2000.** p. 1-5.

Lima W P, **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. 2. Ed. Sao Paulo: Copyright, 2008.

MORAES, J.M. Propriedades físicas dos solos na parametrização de um modelo hidrológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 61-70, 2003.

MUNOZ-ROBLES, C.; REID, N.; TIGHE, M.; BRIGGS, S.V.; WILSON, B. Soil hydrological and erosional responses in patches and inter-patches in vegetation states in semiarid Australia. **Geoderma**, v. 160, p. 524–534, 2011.

NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (NRCS): **National Engineering Handbook**, Part 630 Hydrology, U.S. Department of Agriculture, Chapt. 7, Hydrologic Soil Groups, 2007.

PATHAK, P.; LARYEA, K.B.; SUDI, R.A runoff model for small watersheds in the semi-arid tropics. **Transactions of the ASAE**, v.32, n.5, p1619-1624, 1989.

POTT, C.A., DE MARIA, I.C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 1, 2003. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180217698003>>

PRUSKI, F.F.; BRANDÃO, V.S., SILVA, D.D. **Escoamento superficial**. Viçosa: UFV, 2003, 88 p.

RAUHOFER, J.; JARRET, A.R.; SHANNON, R.D. Effectiveness of sedimentation basins that do not totally impound a runoff event. **Transactions of the ASAE**, v. 44, n. 4, p. 813-818, 2001.

RAWLS, W.J., BRAKENSIEK, D.L.A procedure to predict Green and Ampt infiltration parameters. **Proceedings of ASAE Conference on Advances in Infiltration**, 3, Saint Joseph: ASAE, 1983. p.102-112.

SIDIRAS, N., ROTH, C.H. **Medições de infiltração com infiltrômetros e um simulador de chuvas em Latossolo Roxo Distrófico, Paraná, sob vários tipos de cobertura do solo e sistemas de preparo**. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná, 13p, 1984.

SMEDEMA, L.K., RYCROFT, D.W. **Land drainage: planning and design of agricultural drainage systems**. New York: Cornell University Press, 1983. 376p.

SILVA, D.D.; PAIVA, K. W. N.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFFER, C. E. G. R.; AMORIM, R. S. S. Escoamento superficial para diferentes intensidades de chuva e porcentagens de cobertura num Podzólico Vermelho Amarelo com preparo e cultivo em contornos. **Engenharia Agrícola**, v. 21, n.1, p. 12-22, 2001.

SILVA, J.M.A. **Modelo hidrológico para o cálculo do balanço hídrico e obtenção do hidrograma de escoamento superficial em bacias hidrográficas: desenvolvimento e aplicação**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Viçosa - MG, Universidade Federal de Viçosa - UFV, 142p, 2002.

SILVA FILHO, W. F. **A competitividade e a quebra de paradigmas gerenciais: Um estudo de caso em uma empresa de saneamento**. 1998. Tese (Mestrado em Engenharia de produção) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Florianópolis. 1998. Disponível em <http://www.eps.ufsc.br/disserta98/waldemar/cap6.html>.

TUCCI, C.E.M. Modelos hidrológicos. **Modelos precipitação vazão**. Porto Alegre, Ed. Universidade UFRGS, p.281, 1998.

TUCCI, C.E.M. 1997. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).

TUCCI, C.E.M. **Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos**. Agência Nacional de Águas: Câmara Temática sobre Recursos Hídricos - Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas. 2002. 150 p.



TUCCI, C. E. M.; Clarke R. T. 1997. Impactos das mudanças da cobertura vegetal no escoamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 1Jan/jun, 135-152. 1997.

TYAGI, J.V.; MISHRA, S. K.; SINGH, R.; SINGH, V. P. SCS-CN based time-distributed sediment yield model. **Journal of Hydrology**, v. 352, p. 388–403, 2008.

WILSON, B.N.; ODURO, P. Analytical sensitivity coefficients for the GAML infiltration model. **Transactions of the ASAE**, v.47, n.2, p.479-484, 2004.

YOUNG, M.D.B., GOWING, J.W., WYSEURE, G.C.L., HATIBU, N. (2002) Parched-Thirst:development and validation of a process-based model of rainwater harvesting. **Agricultural Water Management**, 55:121-140.

ZANETTI, S.S; SILVA, J. M. A.; SOUSA, E. F.; OLIVEIRA, V. P. S.; ALMEIDA, F. T. Modelagem hidrológica em microbacia hidrográfica – Parte I: Aprimoramento do modelo HidroBacia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 429-434, 2009.

ZANETTI, S.S. **Modelagem hidrológica em microbacia hidrográfica da bacia do rio Paraíba do Sul**. 2007. 135 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.

ZANETTI, S.S., OLIVEIRA, V.P.S., SOUSA, E.F., SILVA, J.M.A., ALMEIDA, F.T. Análise de sensibilidade do modelo HidroBacia. **Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 34, Canoas: SBEA. 2005.

ZANETTI, S.S., AGRIZZI, D. V., SCÁRDUA, M. D., FUKUNAGA, D., OLIVEIRA, K. D. Estimativas do escoamento superficial em uma sub bacia hidrográfica no município de Rio Novo do Sul, ES. In: Santos, A. R., Peluzio, j. B. E.,Peluzio, T. M. O., Santos, G. M. A. D. A. (Orgs). **Geotecnologias aplicadasaos recursos florestais**. Alegre-es, CCA-UFES, 2012.p. 139-157.

**APÊNDICE**

Tabela 8. Curvas de retenção de água no solo.

Tensão (kPa)	Umidade (g água / g solo)			
	Café	Floresta	Pastagem	Reflorestamento
10	0,133	0,295	0,212	0,170
30	0,107	0,245	0,184	0,139
100	0,090	0,210	0,159	0,121
500	0,075	0,173	0,132	0,102
1500	0,063	0,144	0,111	0,090