UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS – UFPEL

Centro de Desenvolvimento Tecnológico – CDTec

Curso de Graduação em Engenharia Hídrica

Trabalho de Conclusão de Curso

Avaliação de impactos de alteração no uso e cobertura do solo sobre o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas

Laura Kerstner

Pelotas, 2018

Laura Kerstner

Avaliação de impactos de alteração no uso e cobertura do solo sobre o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Hídrica da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Hídrica.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Beskow

Pelotas, 2018

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

K39a Kerstner, Laura

Avaliação de impactos de alteração no uso e cobertura do solo sobre o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas / Laura Kerstner ; Samuel Beskow, orientador. — Pelotas, 2018.

56 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Hídrica) — Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2018.

1. Ciclo hidrológico. 2. Bacias hidrográficas. 3. Uso do solo. 4. Cobertura do solo. I. Beskow, Samuel, orient. II. Título.

CDD : 627

Elaborada por Maria Inez Figueiredo Figas Machado CRB: 10/1612

Laura Kerstner

Avaliação de impactos de alteração no uso e cobertura do solo sobre o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, como requisito parcial, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Hídrica, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 10/12/2018

Banca examinadora:

_____

Prof. Dr. Samuel Beskow

Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras

_____

Prof. Dr. Ricardo Scherer Pohndorf

Doutor em Engenharia e ciência de alimentos pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

_____

Ma. Maíra Martim de Moura
Mestre em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pelotas

Agradecimentos

Aos meus pais, Cristina e Lairton, pelos valores, amor e suporte.

À Meri, por todo carinho e cuidado.

Ao Mateus, pelo incentivo e apoio em todas as ideias.

Aos familiares e amigos que acompanharam a trajetória até aqui.

Aos professores da Engenharia Hídrica, pelo conhecimento transmitido.

À Profª. Idel, pelo exemplo de conduta.

Ao Prof. Carlos Tucci, pela disponibilidade e atenção.

Ao orientador, Prof. Samuel Beskow, pelo auxílio ao longo da pesquisa.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

Obrigada.

“Que nada nos defina, que nada nos sujeite. Que a liberdade seja a nossa própria substância, já que viver é ser livre.”

Simone De Beauvoir

Resumo

KERSTNER, Laura. **Avaliação de impactos de alteração no uso e cobertura do solo sobre o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas.** 2018. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Bacharelado em Engenharia Hídrica, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

Os recursos hídricos são essenciais para o desenvolvimento humano, econômico, político e social, bem como fundamental para a manutenção de sistemas bióticos e abióticos. O presente trabalho sobre a avaliação de impactos de alteração no uso e cobertura do solo sobre o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas, trata, como o próprio nome sugere, da avaliação de uso e cobertura do solo e os impactos que isso causa nos segmentos do ciclo hidrológico, tais como: precipitação, infiltração, escoamento e evapotranspiração. A partir da base teórica de Tucci (2003), e incrementado por estudos de caso das mais variadas regiões do planeta Terra, o tema foi escolhido a fim de lhe proporcionar a importância de conhecimento destes casos para a gestão dos recursos naturais, direcionando o uso do solo em determinadas áreas, e, tão logo, a cobertura. Dessa maneira, os resultados obtidos a partir desta monografia visam a reunião de teorias, conceitos e estudos de caso sobre um assunto que ainda carece de maiores fontes de informação na literatura nacional, mas que têm como proposta ser uma base a mais para estudos futuros, e não uma maneira de esgotar as pesquisas desenvolvidas atualmente e que envolvem o tema proposto.

Palavras-chave: ciclo hidrológico, bacias hidrográficas , uso do solo; cobertura do solo.

Abstract

KERSTNER, Laura. **Evaluation on the impacts of changes in land use and land cover on the watersheds hydrological response.** 2018. 76 f. Bachelor's thesis - Bachelor in Water Engineering, Center of Technological Development, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2018

The Bachelor's thesis on the evaluation on the impacts of changes in land use and land cover on the watersheds hydrological response, deals, as its name suggests, with the evaluation of land use and land cover and the impacts that it causes on the hydrological cycle, so as in its elements, such as precipitation, infiltration, runoff and evapotranspiration. Based on the theoretical basis of Tucci (2003), and further developed by case studies from the most varied regions of the globe, the theme was chosen in order to provide the importance of knowledge of these cases for the natural resources management, directing the land use, and, as soon as land cover. Thus, the results obtained from this monograph aim at the gathering of theories, concepts and case studies on a subject that still needs more information sources in the brazilian literature, but whose purpose is to be an basis for studies in the future.

Key-words: hydrological cycle; watershed; land use; land cover.

Sumário

1. Introdução 11

2. Ciclo Hidrológico 12

3. Os componentes que abrangem o Ciclo Hidrológico 14

3.1 Precipitação 15

3.2 Infiltração 16

3.3 Escoamento 19

3.4 Evapotranspiração 19

4. Simulação de alteração no uso e cobertura do solo 22

4.1 Previsão dos impactos causados pela mudança de uso e cobertura do solo 24

5. Ações antrópicas sobre os sistemas hídricos 26

5.1 Urbanização 26

5.2 Queimadas 31

5.3 Desmatamento 32

5.3.1 Métodos de desmatamento 34

5.3.2 Cobertura de substituição 35

5.3.2.1 Tipos de cultura 35

5.3.2.2 Métodos de plantio 36

5.3.3 Desflorestamento e Reflorestamento 37

6. Impactos da alteração do uso e cobertura do solo sobre os componentes do ciclo hidrológico 39

6.1 Impacto sobre a precipitação 40

6.2 Impacto sobre a infiltração 41

6.3 Impacto sobre o escoamento 44

6.3.1 Vazões médias 45

6.3.2 Vazões mínimas 48

6.3.3 Vazões máximas 49

6.4 Impacto sobre a evapotranspiração 51

7. Considerações Finais 52

8. Referências Bibliográficas 54

1. Introdução

Os recursos hídricos são essenciais para o desenvolvimento humano, econômico, político e social, bem como fundamental para a manutenção de sistemas bióticos e abióticos. O tema proposto se justifica pela importância do conhecimento da base teórica que auxilia na tomada de decisão acerca da gestão do ecossistema como um todo.

Através de uma metodologia qualitativa que expõe dados quantitativos, referentes aos impactos gerados sobre os componentes do ciclo hidrológico, a monografia tem como objetivo destacar apontamentos realizados por diversos importantes autores, como Tucci (2003), Viola (2011) e Ribeiro Neto (2006). Dessa forma, o trabalho é organizado de modo didático, a fim de apresentar de modo lúcido teorias, conceitos e resultados ordenados para uma leitura fluida e que agregue esclarecimentos sobre os impactos do uso e cobertura do solo.

No primeiro capítulo, buscou-se introduzir os conceitos referentes ao ciclo hidrológico e a maneira como o fenômeno ocorre. De forma resumida e objetiva, o capítulo procura esclarecer pontos relevantes que servirão de premissas para o segundo capítulo, relativo aos componentes do ciclo hidrológico, estes fundamentais para abordar, principalmente, os resultados dos estudos de casos que serão vistos ao longo do trabalho.

Neste segundo capítulo mencionado, serão introduzidos os conceitos de precipitação, infiltração, escoamento e evapotranspiração, definidos de acordo com Fekete & Vörösmarty (2003), Balbinot (2008), Mello & Silva (2013) e Fang (2012), respectivamente.

Já no terceiro capítulo, de simulação de alteração no uso e cobertura do solo, apresenta-se uma explicação breve quanto à modelagem hidrológica, segundo Tucci (1997), Niehoffa, Fritscha e Bronstertb (2002) e Beven (2001) e outros, para citar entre os autores mencionados. Dentro do capítulo, evidencia-se um subcapítulo que trata das previsões dos impactos causados pela mudança de uso e cobertura do solo através da modelagem hidrológica.

No quinto capítulo, o trabalho busca destacar as ações antrópicas sobre os sistemas hídricos, retratando práticas, como desmatamento e queimadas, e as consequências da urbanização sobre os mesmos. Vale destacar que dentro do subcapítulo referente ao desmatamento, destrinchou-se os métodos da prática e as coberturas de substituição.

No sexto capítulo do trabalho refere-se propriamente aos impactos da alteração do uso e cobertura do solo sobre os componentes do ciclo hidrológico, que são a precipitação, infiltração, escoamento (que abordará as três variáveis hidrológicas: vazão média, mínima e máxima) e também evapotranspiração.

Por fim, serão trazidas as considerações finais do trabalho que terão por objetivo destacar, sobretudo, a importância da revisão para pesquisas futuras.

No presente trabalho de conclusão de curso há como principal objetivo a organização de uma revisão bibliográfica respectiva ao assunto da avaliação de impactos de alteração no uso e cobertura do solo sobre o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas.

2. Ciclo Hidrológico

A energia solar é a responsável direta por acionar e coordenar o ciclo da água no planeta Terra. Esse ciclo tem por finalidade movimentar a água no planeta e subsidiar a vida terrestre. Por se tratar de um processo cíclico, o ciclo hidrológico não possui início, como também não possui um fim. Por motivos didáticos,no presente estudo, pressupor-se-á que o ciclo hidrológico começa a partir da retirada da água dos oceanos por meio do processo de evaporação através das superfícies marítimas e terrestres. Segundo dados do Programa Internacional de Geosfera (IGBP), todo ano cerca de $5{,}5 \cdot 10^5$ km³ de água é evaporada, usufruindo 36% de toda a energia oriunda do sol que abastece o planeta. Desta, estima-se que os dados se aproximem de $1{,}4 \cdot 10^{24}$ joules/ano(IGBP, 1993).

Dessa forma, por meio destes dados, Tucci (1997) salienta que:

> Essa água entra no sistema de circulação geral da atmosfera, que depende das diferenças de absorção de energia (transformação em calor) e da reflectância entre os trópicos e as regiões de maior altitude, como as áreas polares. Em média, cerca de 5 . 10^9 MW é transportado dos trópicos para as regiões polares em cada hemisfério. (p. 135)

O sistema observado na circulação da atmosfera pode ser descrito como sinuoso, porém deveras dinâmico, tal como salienta o autor. Isso acaba por dificultar a extração de dados quantitativos, uma vez que sua previsão se torna variável. A ocorrência se dá pelo motivo de o sistema criar condições de precipitação por meio do resfriamento do ar úmido, o qual gera precipitação de diferentes situações; chuva, neve e outros sobre ambas as superfícies (mares e terrestres). "A água evaporada se mantém na atmosfera, em média apenas 10 dias." (TUCCI, 2002, p. 30).

Este fluxo de precipitação pode se dar de duas formas: i) positivo, quando sobre a superfície terrestre - mais precipitação e menos evaporação; resulta-se, conquanto, nas vazões de rios diretamente nos oceanos; ii) negativo, quando há o fluxo vertical dos mares e oceanos, quando há mais evaporação e menos precipitação.

Tucci (1997), por meio disso, sustenta seu ponto de vista de acordo com os seguintes dados:

> Esse ciclo utiliza a dinâmica da atmosfera e os grandes reservatórios de água, que são os oceanos (1.350 . 10^5 m^3), as geleiras (25 . 10^5 m^3) e os aquíferos (8,4 . 10^5 m^3). Os rios e lagos, biosfera e atmosfera possuem volumes insignificantes se comparados aos anteriores. (1997, p. 136)

Desta maneira, portanto, o volume de evaporação adicional terá seu deslocamento em direção aos continentes, por meio do sistema de circulação da atmosfera, que provoca, assim, a precipitação na superfície terrestre, pondo um fim ao ciclo.

Ao passo disso, ao longo do ciclo hidrológico sob observação, é possível notar, não obstante, alguns pontos em que este será afetado ao longo do regime em questão; isto posto, o mesmo contém variáveis observadas que - ao sofrerem alteração -podem modificar o ciclo hidrológico. O estudo contemplado por dos Santos, Griebeler e de Oliveira (2010) a partir de análise na bacia do ribeirão Leite, apresentou uma análise acerca das influências negativas que algumas situações podem interferir num dado regime hidrológico observado. Sendo assim, os respectivos autores afirmam que “o regime hidrológico de um rio é afetado pelo uso do solo, variabilidade climática, captações d’água, barragens, mudanças climáticas, entre outros.” (p. 2)

3. Os componentes que abrangem o Ciclo Hidrológico

Com o intuito de definir os pontos mais aprofundados do ciclo hidrológico, são necessários, antes a esta delimitação, envolver e definir os termos mais básicos observados dentro dos componentes que comportam o ciclo hidrológico. Destarte, por consequência, quatro abrangentes conceitos exemplificam, em suma, o destrinchar do que abrange o ciclo hidrológico. Seja feita, assim, uma separação reparada que comporta a definição pontual de quatro terminologias fundamentais que servem de base para o aprofundamento nos estudos do ciclo hidrológico. Para tanto, temos: i) precipitação; ii) infiltração; iii) escoamento; iv) evapotranspiração.

Apesar de, obviamente, haverem outros termos tão importantes como os supracitados, a avaliação de impactos do uso do solo sobre o comportamento hidrológico – como é o ponto norte e cerne à centralidade do trabalho – fundamenta-se em destacar estes quatro termos tão fundamentais para avaliação em qualquer área, seja macro ou micro, dos estudos em recursos hídricos.

3.1 Precipitação

A precipitação faz parte de uma gama importante de análises que possibilitam a exploração de outros importantes dados acerca do balanço hídrico observado em uma dada bacia. É importante ressaltar, para tanto, que o balanço hídrico em escala de bacia representa, na hidrologia, o resultado observado da quantidade de água que entra e sai de uma bacia hidrográfica, sob um determinado intervalo de tempo datado. Temos, assim, em precipitação, uma importante parte deste processo a fim de estabelecer o balanço hídrico de uma dada porção de solo. Porquanto, a porção de solo observada terá importante datação para mensuração de dados que, posteriormente serão analisados, respectivos de acordo com a precipitação, levando em conta toda a água que adentra o solo, como as águas superficiais, que cobrem a região observada em estudo. Pensando nisso, Fekete&Vörösmarty (2003), apontam situações imprescindíveis para a configuração de análises mais do que fundamentais correspondentes à precipitação. Desta forma, os autores explanam que:

> A precipitação é uma das variáveis climáticas mais importantes para determinar precisos cálculos envolvendo o balanço hídrico, uma vez que abrange como fonte principal de água para o levantamento de escoamento superficial. Nas últimas duas décadas, vários conjuntos de dados de precipitação global foram desenvolvidos usando diferentes fontes de entrada, como observações terrestres, estimativas de satélite e simulações de modelos climáticos. (p.296)

Por meio disso, os dados colhidos a nível global referentes à precipitação são obtidos a partir de inúmeras medidas. Tal como citaram os autores, compreendendo desde observações terrestres, a estimativas oriundas de satélites, como também a partir de simulações hidrológicas e climáticas de uma dada região. A partir disso, temos que a precipitação pode ser referida como o principal e mais importante componente do ciclo hidrológico, isso porque ela será a responsável por retornar, em quantidade, a maior parte da água doce do planeta Terra.

Segundo Tucci (1996), o processo de precipitação, que corresponde a todo e qualquer elemento oriundo da umidade atmosférica (chuvas, neve, orvalho, geada), atinge o solo, ocasionando duas diferentes ocorrências. A partir do autor,"i) Atravessa a vegetação da floresta (tropical) atingida, onde 85%, em média, é retida por folhas; ii) Cerca de 1-2% da precipitação acaba sendo interceptada pelos troncos das árvores" (Tucci, 1996, p. 136). De acordo com o autor, o dado é variável, já que abrangerá de acordo com o tipo de floresta analisada.

> A diferença é a interceptação. Na Reserva Duke, em Manaus, 8,9% da precipitação é interceptada pela vegetação, enquanto que na Reserva Jarú a interceptação é de 12% e na Reserva da Vale do Rio Doce 13%, sendo 65% nos períodos de seca e 1% no período úmido. (Ubarana, 1996 *apud* TUCCI, p. 136)

A parcela não interceptada que atinge o solo pode ou infiltrar ou até mesmo escoar; variando, sobretudo, em função da capacidade de infiltração do solo. A capacidade de infiltração do solo deverá seguir algumas características a serem observadas, tais como a quantidade de umidade previamente existente na superfície, as características que o solo da região apresenta e, sobretudo, a cobertura da mesma.

3.2 Infiltração

Além da precipitação, a infiltração surge como parte importante do ciclo hidrológico. Em suma, a infiltração representa a fase de penetração da água do solo pela superfície até o interior do mesmo. A infiltração está entre as fases do ciclo hidrológico de maior importância, uma vez que é a parte em que há a conservação maior dos recursos naturais (solo e água). O grau de infiltração será determinado pela parcela precipitada, bem como o tipo e estrutura de solo observado. Além disso, a infiltração dependerá diretamente da parcela de precipitação, e, por conseguinte, a parcela de água não infiltrada será responsável pelo armazenamento nas depressões e também pelo escoamento superficial direto. Balbinot (2008) especificou do que se trata a infiltração e deu sua respectiva importância em meio ao ciclo hidrológico. Sendo imprescindível

para o sucesso do ciclo – em palavras democráticas – a infiltração, segundo o autor obedecerá:

> As características do solo e da água, os fenômenos de entrada de água pela superfície, bem como a transmissão através do perfil e a depleção da capacidade de armazenamento do solo definem a infiltração e o escoamento na superfície do terreno. Quando a camada superficial do solo sofre compactação, a água penetra com maior dificuldade, mesmo que o perfil do solo apresente condições favoráveis à percolação, fenômeno caracterizado pelos movimentos realizados pela água no interior do solo após a infiltração. (BALBIOT, 2008, p. 140)

A percolação, é importante ressaltar, dentro dos estudos hidrológicos e geológicos, representa a passagem da água pelo solo, passando por rochas permeáveis, até chegar a reservatórios subterrâneos. Desta maneira, é permitido desvendar e prever, de certa forma, a potência de formação de vazões mais elevadas, de acordo com a ocorrência de precipitações mais severas. Consequentemente, o armazenamento temporário de uma parcela da precipitação infiltrada poderá ser medida, uma vez que disponibilizada em meio a configuração de escoamento de base – ocorrido, assim, durante momentos de seca, bastante comuns no Nordeste brasileiro, por exemplo. Já na questão de irrigação, visa o estabelecimento de taxas previamente analisadas que pretendem garantir a disponibilidade da água então armazenada no solo em quantidade ideal para a cultura irrigada. Isso, no entanto, trata apenas de adicionar informações que almejam somar dentro da revisão abordada.

Dois pontos fundamentais zelam a questão que envolve o processo de penetração da água no solo. são fatores que influenciam a infiltração, Tucci (2003) define estes como sendo intrínsecos ou extrínsecos ao solo:

a) Intrínsecos ao solo envolvendo a classe do mesmo, variando-se a textura, a estruturação, a estabilidade da estrutura, além do grau de compactação natural observada; bem como, a permeabilidade do solo apresentará uma variação, assim como também a matéria orgânica percebida. Outro ponto ainda faz referência às condições da superfície, sobretudo se tratando da declividade do local, e, como supramencionada, a compactação do solo em sua origem. Além de todos os pontos intrínsecos citados, o teor de água característico do solo e a homogeneidade do solo podem ser

fundamentais sob a questão de infiltração retratada – camadas densas de pouca profundidade, para fazer referência a esta última situação pensada;

b) Já sob os casos extrínsecos ao solo é possível citar a precipitação (já citada anteriormente), que faz referência à intensidade e duração da mesma no momento e no póstero, além da precipitação que antecedeu a avaliação; O preparo do solo, abrangendo preparo, compactação, cobertura e conservação, que serão imprescindíveis para a avaliação da capacidade de infiltração.

Percebe-se, portanto, que uma parcela desta precipitação ou infiltrará o solo, ou até mesmo poderá escoar pelo mesmo; o caso variará segundo o solo da região e sua consequente capacidade de infiltração. Estas variações corresponderão a inúmeros fatores que possibilitem o solo de infiltrar ou escoar a precipitação que atingirá o solo. Entre elas é possível citar: i) a umidade já presente no solo da região; ii) o tipo de solo verificado e suas determinadas características; iii) cobertura observada.

A partir destes levantamentos de variáveis para infiltração e escoamento, Tucci (1997) ainda salienta que:

> A água que infiltra pode percolar para o aquífero ou gerar um escoamento sub-superficial ao longo dos canais internos do solo, até a superfície ou um curso d'água. A água que percola até o aquífero é armazenada e transportada até os rios, criando condições para manter os rios perenes nos períodos de longas estiagens. Em bacias onde a capacidade de água subterrânea é pequena, com grandes afloramentos de rochas e alta evaporação, os rios não são perenes [...]. (p. 137)

O autor ainda exemplifica que o escoamento em florestas é alto, trazendo os dados levantados por Pritchett (1979). Constatando isso, Tucci (2003) observa que a alta infiltração suscita um escoamento superficial direto baixo. Enquanto isso, ele ainda pondera que os solos que apresentam alta compactação terão dificultosa ação da infiltração, tal como estradas, por exemplo. Em outro caso, porém, superfícies argilosas secas podem ter alta capacidade de infiltração até atingirem a umidade de saturação. Dessa forma, é possível desprender que, a compactação também terá a variável de acordo com o tipo de solo e seu atual momento – bem como observado com o exemplo levantado acerca do solo argiloso.

3.3 Escoamento

A água oriunda da precipitação fará um caminho ditado, infiltrando em parte no solo, e escoando superficial e sub-superficialmente. O escoamento, assim, se torna uma parte importante do ciclo hidrológico. Isso se deve ao fato de, comumente, estar relacionado diretamente ao conceito proposto de escoamento superficial. Para este, basicamente, faz-se a observação de que seja a terminologia utilizada com o intuito de representar o fluxo de água que ocorre ao longo da superfície do solo, no momento em que este se encontra impermeabilizado ou completamente saturado de água, ou seja, com alto grau de umidade. Para Mello & Silva (2013), a definição em grandeza matemática do conceito de escoamento superficial representaria:

> [O escoamento superficial] é gerado pelo excesso de precipitação que escoa diretamente sobre a superfície, e é função de duas situações: saturação do solo, com redução da sua capacidade de infiltração bem como de armazenamento de água; e por intensidades elevadas de precipitação, as quais podem superar a capacidade de infiltração atual do solo. (MELLO & SILVA, 2013, p. 343)

É importante ressaltar que, além do escoamento superficial e sub-superficial, supracitados e contextualizados, é imprescindível ressaltar o escoamento de base como um adendo. Este, por sua vez, é conhecido como escoamento subterrâneo, onde a parcela da precipitação, que após infiltração escoa horizontalmente através dos espaços vazios das rochas - poros ou fraturas -, até chegar ao curso d'água.

O escoamento apresenta algumas variáveis hidrológicas, dentre elas destacam-se a vazão média, a vazão máxima e a vazão mínima. A vazão máxima é originada principalmente do escoamento superficial direto, que ocorre principalmente em eventos intensos de chuva, quando a capacidade de infiltração do solo é menor que a intensidade da precipitação. Já a variável vazão mínima é mantida principalemente pelo escoamento de base

3.4 Evapotranspiração

Por fim, dentre os quatro conceitos primordiais e componentes do ciclo hidrológico, a evapotranspiração. O processo de evapotranspiração pode, em síntese, ser definido como a perda de água do solo por evaporação e a perda de água das plantas por transpiração. Fang (2012), no entanto, aprofunda este conceito, salientando que:

> A evapotranspiração é uma variável importante para as análises de água e energia na superfície da Terra. O conhecimento da distribuição da Evapotranspiração é um fator-chave na hidrologia, na agricultura, na ecologia e em outros estudos ambientais. A estimativa precisa do Evapotranspiração real da escala deumabacia hidrográfica é um problema difícil em modelos hidrológicos, devido à natureza complexa da evaporação do solo e da transpiração da vegetação. Muitas observações baseadas em variáveis da evapotranspiração real foram conduzidas em experimentos de campo em larga escala, usando vários instrumentos de medição, como lisímetros, sistema de razão de Bowen e torre de covariância de vórtices. Em geral, a covariância de vórtices turbulentos é, frequentemente, considerada o método mais confiável e avançado para medir os fluxos de energia da superfície terrestre. No entanto, é geralmente reconhecido que as técnicas convencionais empregando as medições de ponto para estimar os componentes da variância energética são apenas de escalas locais e não podem ser estendidas para grandes áreas devido à heterogeneidade espacial dos processos de superfície da terra. (p. 156)

Os fluxos das bacias coordenarão os diferentes processos que abrangem o ciclo da água no globo. Assim, eles poderão ter duas diferentes direções dentro de uma dada bacia; assim sendo, as duas direções serão: vertical e longitudinal. O fluxo vertical irá corresponder à evapotranspiração e à precipitação. Já o fluxo longitudinal refere-se ao escoamento de acordo com os gradientes correspondentes às diferentes superfícies (superficial e rios) e do subsolo (subterrâneo).

Tucci (1997), em referência a Bruinjnzeel (1990), destaca que:

> O balanço de volumes na bacia depende inicialmente dos *processos verticais*. [...] [A] radiação solar atinge a superfície da Terra, parte é refletida e parte é absorvida. A proporção entre a energia refletida e a total é o albedo, que depende do tipo de superfície. Por exemplo, o albedo de uma superfície líquida é da ordem de 5-7%; enquanto que a de uma superfície como uma floresta tropical é cerca de 12%; para pasto e uso agrícola, esta ordem está entre 15-20%. (Bruinjnzeel *apud* TUCCI, 1997, p. 136)

O incremento e observação de vegetação em uma dada superfície terão o papel imensurável para o balanço energético e na quantidade de água em

um dado fluxo. "A parcela inicial da precipitação é retida pela vegetação; quanto maior for a superfície da folhagem, maior a área de retenção da água durante a precipitação" (TUCCI, 1997, p. 136).Todo o volume retido após precipitação será evaporado, assim que houver capacidade para o processo. A este processo de evaporação define-se como um fenômeno em que moléculas, geralmente no estado líquido, acumulam energia suficiente para passar ao estado gasoso.

Ao ocorrer o processo completo de evaporação, e, por consequência, o volume retido é totalmente evaporado, as plantas passam a ter perda de umidade numa troca constante com o ambiente a qual estão submetidas; ocorrendo, assim, a transpiração das mesmas. "A planta retira essa umidade do solo através das suas raízes." (TUCCI, 1997, p. 136)

Por conseguinte, a evapotranspiração (*evaporação* + *transpiração*) trata da perda de água do solo por meio do processo de evaporação; enquanto que, simultaneamente, é a perda de água da planta por transpiração. Em florestas tropicais "raramente [há] déficit de umidade [...] [esta é], em média, 1.415 mm (1310 - 1500mm). Esse valor pode cair para 900 mm se houver períodos de déficit hídrico." (Druijneezel, 1990 *apud* TUCCI, p. 136).

As altas taxas de interceptação e transpiração verificadas nas florestas resultam em características hidrológicas próprias conforme demonstrado por diversos estudos. Por exemplo, estima-se que 50% do volume precipitado em bacias com cobertura vegetal provêm do oceano e 50% provêm do processo de evapotranspiração que ocorre na própria bacia. Ribeiro Neto (2006) expõe que:

> Em virtude dessa grande perda por evapotranspiração, verifica-se uma menor vazão nessas bacias. Na China, WEI et al. (2005) afirmam que, nas florestas temperadas do nordeste do país, a evapotranspiração varia de 80 a 90% da precipitação e, nas florestas tropicais do sul, a variação é de 40-50%. Na Austrália, as florestas de eucalipto apresentam evapotranspiração correspondente a 55% (HUTLEY et al., 2000) e 65% da precipitação (COOK et al., 1998).

De toda a forma, o autor salienta os casos observados na região casos específicos na Ásia e Oceania, a fim de demonstrar o comportamento de

regiões com índices dos componentes do ciclo hidrológicos tão diferentes quando comparados com as florestas brasileiras, por exemplo.

4. Simulação de alteração no uso e cobertura do solo

De acordo com Niehoffa, Fritscha e Bronstertb (2002), o uso do solo refere-se às "atividades humanas que estão diretamente relacionadas a terra, fazendo uso de seus recursos e interferindo nos processos ecológicos que determinam o funcionamento da cobertura do solo" (*apud* Veldkampand Fresco, 1996, p. 3).

Para a compreensão da simulação do comportamento de uma respectiva bacia hidrográfica, é fundamental avaliar diferentes estágios nas alterações do uso do solo. Estas, segundo Tucci (2003), dependerão, fundamentalmente, de alguns fatores, tais como: i) modelo capaz (ou não) de representar os processos atuantes em condições previamente estabelecidas e alteradas conforme necessidade; ii) critérios adequados com parâmetros específicos de acordo com o modelo de influência direta e significativa que implicam nos resultados para condições citadas; iii) independência de variáveis de entrada ou mesmo variações observadas em uma específica bacia.Enquanto isso, Niehoffa, Fritscha, Bronstertb (2002) apontam que:

> O uso do solo é controlado pelo potencial de uso da terra para agricultura, área florestal, urbanização ou zonas de proteção ambiental. É governado por diferentes setores da economia e também por interações socio-culturais. Na Europa o uso do solo é classificado em áreas urbanas, agrícolas e florestais. A cobertura do solo refere-se a paisagem da superfície que é principalmente afetada por seu uso, seu cultivo e fenologia sazonal. Alterações no uso do solo são causadas pela mudança biofísica ou por necessidades econômicas, políticas e da natureza (*apud* O'Callaghan, 1996, p.3)

Os processos hidrológicos chuva-vazão se tornam imprescindíveis a modelar, visando aspectos de mensuração. Entretanto, Beven (2001) pondera alguns entraves para tal modelagem necessária. Salienta-se, assim, que:

> A principal razão é, contudo, a consequência das limitações das técnicas de medição hidrológica. Nós não estamos habilitados a medir tudo o que gostaríamos de saber sobre os sistemas hídricos. Nós temos, de fato, apenas um alcance limitado nas técnicas de medição como também no banco de dados espaço-temporais. (BEVEN, 2001, p. 1)

Levanta-se a hipótese, segundo Beskow (2009), de que o verdadeiro problema enfrentado nos monitoramentos hidrológicos brasileiros seja, definitivamente, a carência de dados respectivos às inúmeras bacias hidrográficas de pequeno porte espalhadas pelo território nacional. O autor ainda ressalta que:

> O que mais chama a atenção no monitoramento hidrológico no Brasil é o fato da carência de dados estar associada especialmente a pequenas bacias hidrográficas. Neste caso, na maioria das vezes, é dos grupos de pesquisa da área de recursos hídricos a responsabilidade destes monitoramentos (Beskow et al., 2009).

Para isso, são necessárias urgentes alternativas para mensuração dos dados hidrológicos no espaço-tempo adequado. Uma vez que, no futuro, há apenas a possibilidade de prever os possíveis impactos de mudanças no ciclo hidrológico apresentados de forma empírica ou conceitual; estas, inclusive, sendo prováveis apenas com os registros de séries históricas como base.

Portanto são necessários meios a fim de extrapolar os dados hidrológicos no espaço e no tempo, principalmente em locais onde não há monitoramento hidrológico, e no futuro (onde não há possibilidade de medição) para avaliar o provável impacto de futuras mudanças no ciclo hidrológico em termos quantitativos e qualitativos. Modelos de diferentes tipos providenciam meios de predição ou extrapolação quantitativa que amparam a tomada de decisão.

Os objetivos da modelagem estão diretamente relacionado às pesquisas para prever os efeitos nas mudanças atmosféricas, oceânicas e de solo no mundo a serem observadas nos próximos século. Beven (2001) ressalta este ponto de modo inferir a importância destes dados para com os estudos de mudanças climáticas percebidos no presente século e nos futuros. Assim, ele pondera que:

> A modelagem hidrológica contribui apenas para uma pequena parte do sistema de modelagem global atmosfera-oceano-solo, que está sendo usado para prever as mudanças no próximo século. Porém,

> não é uma parte insignificante. Modelos de circulação global (GCMs) são conhecidos por serem sensíveis a como a hidrologia na superfície do solo é representada. Não há dúvidas de que mudanças locais e globais causarão impacto nos processos hidrológicos no próximo século. A problemática é como melhor prever se esses impactos são significativos, visto que os sistemas hidrológicos estão sujeitos a tantas mudanças decorrentes de causas naturais.Nossas habilidades de prever o futuro são necessariamente limitadas, mesmo se tivéssemos modelos hidrológicos perfeitos. (BEVEN, 2001)

Por meio deste raciocínio, o autor salienta que a grande problemática envolvida cerne as maneiras de como melhorar, e consequentemente precisar, e assim prever, os impactos decorrentes de causas naturais, avaliando estes possíveis casos como significativos ou não do ponto de vista avaliativo.

4.1 Previsão dos impactos causados pela mudança de uso e cobertura do solo

Consequências observadas no âmbito da mudança no uso do solo mostram alguns estudos que exploram os impactos, em variados casos, negativos da mudança do uso do solo; seja no pH, seja no balanço hídrico apresentado. Dois estudos explicitam tais impactos causados sob uma ótica que abrange muito mais do que as justificativas conclusivas ao final do estudo. Contudo, servem de base para entender como a mudança de uso de solo altera um conjunto muito mais abrangente do que apenas o solo em si; também aponta impactos diretos no ciclo hidrológico, sendo um dos principais responsáveis na alteração de amostras observadas em pósteros estudos.

Em Viola (2011), o autor ressalta a questão do impacto hidrológico de alterações no uso do solo de acordo com avaliação simultânea de pares de bacias, notou-se que:

> O impacto hidrológico de alterações no uso do solo pode ser determinado experimentalmente pelo monitoramento de pares de bacias hidrográficas com características similares em termos de declividade, solo, área, clima e vegetação. Após um período de monitoramento, para o conhecimento da relação entre o comportamento hidrológico das duas bacias, procede-se a alteração da cobertura vegetal de uma delas, mantendo-se a vegetação da outra inalterada. De acordo com Brown et al. (2005), esse tipo de experimento permite o controle da variabilidade climática sobre os

> resultados e, assim, podem-se quantificar as alterações no escoamento decorrentes da modificação da vegetação. (VIOLA, 2011, p. 29)

Em um segundo estudo, agora sob elaboração de Saenz e Queiroz (2016),houve por objetivo inicial de trabalho proposto realizar o cálculo do balanço hídrico (sob influência dos impactos observados pela mudança de uso do solo) do Igarapé de Quarenta ao longo dos anos compreendidos de 1984 a 2011. Assim, o estudo concluiu que:

> O balanço hídrico mostrou resultados insatisfatórios, quando calculado pelo modelo SWAT[1], como observado nas suas variáveis componentes, já que ele foi afetado diretamente em virtude do desmatamento e a pavimentação do solo pela ação do homem. O trabalhou mostrou a importância da vegetação nativa, e de como o desmatamento afeta diretamente no balanço hídrico, sendo possível mostrar em imagens e em números a quantidade de áreas antropizadas na cidade de Manaus e no Igarapé do Quarenta. (SAENZ & QUEIROZ, 2016, p. 10)

Um terceiro estudo, comandado por Bertol et al. (2007), o objetivo previa a avaliação das perdas observadas de nutrientes, água e solo por erosão nas culturas; a análise fora realizada em solo cultivado a partir da técnica de semeadura direta, cujo solo fora submetido a adubações minerais e orgânicas. O intuito com os resultados era a obtenção de dados simples que pudessem fomentar a necessidade de controle à erosão hídrica, bem como da enxurrada superficial a qual a região está associada. De certa forma, o estudo fora importante a fim de delimitar as mudanças do uso do solo a partir (e causa) do uso de agentes externos usufruídos pela atividade humana.

Temos, assim, a seguinte conclusão do estudo proposto por Bertol et al. (2007):

> As perdas de sedimento e água, a demanda química de oxigênio, a condutividade elétrica e o pH da enxurrada observados neste estudo evidenciam a necessidade de se controlar a enxurrada mesmo em áreas cultivadas sob a técnica de semeadura direta, o que pode ser conseguido por meio da implantação de estruturas mecânicas para sua contenção. (BERTOL et al., 2007, p. 790).

Dessa maneira, salienta-se a importância desses três estudos a fim de explicitação do modo que a mudança de uso do solo impacta em diversos

[1]O modelo Soil&WaterAssessment Tool (SWAT) permite inúmeros processos físicos a serem aplicados em bacias hidrográficas, já que é um modelo matemático distribuído, e tem como objetivo a análise dos impactos na alteração do solo sobre o escoamento superficial e subterrâneo, sedimentos, vazão de uma bacia hidrográfica (SRINIVASAN, 1994.)

setores do ciclo hidrológico, bem como do balanço hídrico a ser analisado. Este trabalho não tem por objetivo analisar ou avaliar se os casos foram positivos ou negativos, mas apenas trazer dois casos que demonstram como o uso e cobertura do solo, agentes externos trazidos pelo homem, bem como a importância da cobertura natural/nativa são pontos de análise fundamental para qualquer trabalho que vise analisar o uso e cobertura do solo em dados ambientes.Para tanto, o trabalho dá segmento em como o impacto de algumas situações são fundamentais para avaliar as consequências na mudança do uso do solo.

5. Ações antrópicas sobre os sistemas hídricos

Há evidências que caracterizam que um regime hidrológico afetado tem como consequência, ainda, a interferência da vegetação sobre o próprio ciclo avaliado. Sob conjunção da transpiração, interceptação e capacidade de infiltração da água no solo – tal como salientam Santos et al. (2010), a intercessão da vegetação sobre o ciclo será imediata “e, desta forma, modificações no uso do solo praticadas na bacia hidrográfica tendem a promover modificações no escoamento na bacia.” (SANTOS et al., 2010 p. 828)

Sobretudo, quando observadas as enchentes, as vazões mínimas e as vazões médias. Além destes três aspectos anteriormente citados, verifica-se também efeito de alteração na jusante e nas condições ambientais do local em questão. À vista disso, alterações explicitadas como tal, quanto à utilização e manuseio do solo, podem ser classificados de acordo com o que Tucci (2003)propõe, que segue “i) tipo de mudança; ii) ao tipo de uso da superfície; iii) a forma de desmatamento.” (TUCCI, 2003, p. 38)

5.1 Urbanização

O desenvolvimento urbano ocasionado em virtude do êxodo rural promove alterações na cobertura vegetal do solo observada. Em outrora, o ciclo hidrológico compreenderia a etapa e o curso natural. Por meio da urbanização, os componentes atuantes no ciclo hidrológico são alterados, uma vez que a cobertura vegetal modificada altera tais componentes. Por meio disso, Tucci (2003) elenca que os problemas decorrentes da urbanização, são:

> i) aumento das vazões médias de cheias (em até 7 vezes); ii) aumento da produção de sedimentos; iii) deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea; iv) forma desorganizada como a estrutura urbana é implantada. (TUCCI, 2003, p. 57)

O impacto da urbanização está diretamente ligado às coberturas dispostas sobre a bacia. Esta, por sua vez, é alterada para pavimentos impermeáveis, onde são também introduzidos condutos com o objetivo de escoamento pluvial. Dessa forma, gera-se as seguintes alterações nos componentes do ciclo hidrológico anteriormente mencionados por Tucci (2003) e delimitadas, resumidamente, da seguinte forma pelo autor:

> 1. Redução da infiltração do solo;2. Volume que não é infiltrado permanece na superfície;3. A redução da infiltração implica na diminuição do lençol freático em decorrência do impacto direto aos aquíferos, principalmente pela falta de alimentação adequada;4. Redução significativa da evapotranspiração. (TUCCI, 2003,p. 59)

Por meio destas ponderações,Tucci (2003) ainda salienta que:

> Estas são as principais alterações no balanço hídrico quantitativo. A proporção como estes valores alteram varia de acordo com as condições de localidade em função do tipo de solo, cobertura e rocha, pluviosidade e clima. (TUCCI, 2003, p. 514)

O autor ainda sustenta suas observações com uma tabela quantitativa que exemplifica uma situação de clima temperado. Tucci (2003)não obstante observa que com coberturas rochosas e impermeáveis, as alterações nos componentes do ciclo hidrológico serão menores comparadas a outras situações. Um exemplo destas observações adversas seria para as bacias em que o escoamento se mostra insignificante; implica, assim, em um impacto que poderá vir a ser maior em relação à situação anteriormente citada.

Tucci (2003) então observa que "o impacto da urbanização é mais significativo para precipitações de maior frequência onde o efeito da infiltração é mais importante" (TUCCI, 2003,p.514). Por meio disso, o autor ainda trará um

contraponto fundamental, ondepara "precipitações de baixa frequência (alto tempo de retorno) a relação entre as condições naturais e com a urbanização são relativamente menores" (p. 514).

Tucci (2003) utiliza de um exemplo para sustentar seu ponto de vista:

> Para uma enchente de risco alto a proporção de precipitação que infiltra sobre o total precipitado diminui, pois a infiltração tende a ser a mesma, independentemente da precipitação,já que esta é maior que a capacidade de infiltração. Como a rede de drenagem pluvial está dimensionada para riscos pequenos, ocorrem alagamentos que funcionam como amortecedores, também observados nas condições naturais das bacias. (p. 514)

Em experiência realizada no ano de 1997, quando observou o impacto da urbanização na Região Metropolitana de Curitiba, Tucci (2003) lançou mão de dados tanto do meio rural, como também do meio urbano. É possível perceber a relação entre a vazão média de enchente e a área que dispõe a bacia do rio Iguaçu e seus respectivos afluentes. Neste quesito, Tucci (2003) observa que:

> Nesta figura, o ponto que se distancia da tendência, na parte superior, se refere à bacia do rio Belém, com 42km², 100% urbanizada, com cerca de 40% de áreas impermeáveis. Os dois pontos um pouco acima da reta são de duas outras bacias (Palmital, 7% e Atuba, 15% de áreas impermeáveis), que estão em processo de urbanização. (p. 515)

A crescente urbanização percebida nas bacias hidrográficas está inteiramente relacionada, igualmente, às alterações proporcionadas com o intuito de modificar a dinâmica natural do ciclo da água. Nas áreas urbanas, por exemplo, a impermeabilização do solo, a remoção da vegetação natural e a canalização enfrentada em cursos fluviais têm sido fatores determinantes que agravam e desencadeiam processos notórios de erosão, inundação e alagamento nos grandes centros urbanos. Por esse motivo, os casos em que é mais frequente a necessidade de avaliação do impacto da alteração provocada pelo uso do solo são:

1. desmatamento provocado para uso agrícola e pecuário;
2. urbanização progressiva;

No item 1, a urbanização progressiva, quando mal administrada, acaba exigindo um avanço urbano excessivo e uso de recursos acima do esperado –

como é o caso das cidades brasileiras, que não se prepararam para o contingente populacional que acomete a região. Dessa maneira, inúmeros fatores acabam atingindo diretamente o ciclo hidrológico observado nos grandes centros urbanos. É possível citar que estes:

> Podem-se citar vários fatores que alteram o ciclo hidrológico nas cidades, entre eles: impermeabilização do solo, remoção da vegetação, alterações morfológicas na topografia, obras de engenharia nos canais fluviais e deposição irregular de resíduos. Esses fatores acabam por desencadear ou intensificar o assoreamento de rios urbanos, ampliação da magnitude e frequência de enchentes, erosão dos solos e dos canais fluviais, movimentos de massa e outros processos que associados resultam em intensa degradação ambiental. (FRITZEN, 2011, p. 243)

Na mesma mão, em que relaciona-se Tucci (2003) e Fritzen (2011), observou-se que métodos experimentais já foram utilizados a fim de analisar o impacto do desmatamento na mesma mão de via que a urbanização. Afinal, para haver desenvolvimento urbano, é imprescindível que haja desflorestamento. Por meio disso, o autor destacou um estudo estipulado, observando caso específico e os resultados apresentados que destacaram como o impacto da urbanização infringia no ciclo hidrológico.

> No primeiro caso [...] foram apresentados os diferentes métodos experimentais que têm sido utilizados para estimar o impacto do desmatamento. No entanto, a maioria destes dados envolve pequenas bacias rurais. Os modelos hidrológicos existentes podem ser utilizados para analisar este tipo de impacto, no entanto os resultados ainda apresentam importantes incertezas, devido a diferenças de escala quando o resultado desejado envolve bacias menores. No caso da urbanização, as técnicas hidrológicas têm sido utilizadas essencialmente para simular cenários de projeto. (TUCCI, 2003, p. 516)

As causas e as consequências do déficit hidrológico causado pela urbanização estão diretamente relacionados a variados fatores. Neste paralelo entre autores, é possível constatar que as consequências (problemas em função da impermeabilização) acarretam, ainda, em novas consequências percebidas (aumento do escoamento superficial e obstrução da infiltração). Mais detalhado, o autor relata que:

> Na área urbana, em função da impermeabilização do terreno, o ciclo hidrológico é afetado na sua parte terrestre, no tocante ao escoamento superficial e infiltração. A impermeabilização é feita de modo geral com a construção de obras de alvenaria, acessos públicos para pedestres e pavimentação asfáltica em vias de circulação de veículos. Desse modo, delineiam-se dois problemas: a

> obstrução da infiltração e o aumento do escoamento superficial. (FRITZEN, p. 244)

Devido a isso, o caso que se percebe é uma geração de problemas cíclicos que acabam afetando não só a infraestrutura construída, como também o cotidiano dos habitantes dos grandes centros urbanos – os quais acabam agravando-se nas regiões das periferias das cidades, que carecem de maior atenção, sobretudo em casos onde inundações e erosão provocam episódios fatais com deslizamentos e alagamentos.

O desenvolvimento sustentável, através de metas estabelecidas junto a políticas públicas, visa a preservação do meio ambiente e a estabilização de uma qualidade de vida digna à população residente de um delimitado município, sobretudo este tratando-se de um grande centro urbano. Partindo do ponto que sustenta a qualidade de vida de um município, Coltri (2006) busca analisar as ilhas de calor[2] - utilizando o município de Piracicaba, interior de São Paulo, como referência - utilizando técnicas de sensoriamento remoto. A autora afirma que:

> Uma das mais importantes modificações causadas pela urbanização é a alteração das características térmicas da superfície pelo excesso de edificações e materiais de construção quando comparado às área verdes. Tais materiais aumentam a absorção de energia bem como impermeabilizam a superfície. Além disso, o aumento da rugosidade urbana altera padrões de circulação do ar, e as atividades antrópicas, por sua vez, alteram a atmosfera urbana pela adição de calor e material particulado. (COLTRI, 2006, p. 105)

A urbanização está diretamente relacionada com o processo de desmatamento, oferecendo consequências progressivas e problemas que acabam se somando. No ponto do desmatamento, existem o que são realizados por meio do trabalho profissional, com verificação de satélite. Atualmente, cada árvore acaba ganhando um número, localização geográfica definida e, assim, georreferenciada a fim de estabelecer a sua real importância. Esse tipo de desmatamento é realizado por meio de estudo, sustentável e não por decisão aleatória.

[2] A partir da ponderação de Coltri (2006), Ilha de Calor é definida como a anomalia térmica que pode ser observada em centros urbanos que apresentam temperaturas mais elevadas quando comparadas à temperatura de áreas rurais. (p. 111)

Em vista disso, as alterações conferidas com o manejo irresponsável com a mudança do solo trará consequências (quase) incalculáveis. Danos que, se não mensurados, extrapolam e prejudicam o desenvolvimento sustentável, e, claro, o ciclo hidrológico como um todo. O meio ambiente precisa ser respeitado, e, tal como retratado em parágrafo anterior supracitado, o estudo, o georreferenciamento e o desmatamento coerente e calculado – assim como o caso das queimadas – deve ser feito seguindo uma matriz lógica, sob uma observação, estudo, pesquisa e aferição de resultados apresentados.

5.2 Queimadas

As queimadas são um dos grandes problemas ocorridos atualmente. Incêndios em florestas apresentam impactos relevantes, seja no solo, seja nos processos hidrológicos, bem como na degradação de todo o ciclo. O processo tem sido observado com constância, e a consequência notada fora o fortalecimento à repelência do solo à água, ocorrendo o problema inverso do que se percebe no desflorestamento, por exemplo. Assim, será observado alguns comportamentos com a incidência de queimadas em regiões florestas, como os autores em questão salientaram:

> [O] efeito dos incêndios florestais sobre os solos, com relevância para os processos hidrológicos e de degradação, é o aparecimento ou fortalecimento da repelência dos solos à água. (DeBano, 1981) [...] Este processo tem sido encontrado em locais queimados por incêndios florestais de elevada intensidade, bem como sob alguns tipos de manta morta, como é o caso da folhada produzida por povoamentos de *Eucalyptusglobulus*. (FERNANDES e COELHO et al, 2010, p. 28)

Assim, tanto o efeito dos incêndios, como a consequência porvindoura, retratam as observações propostas pelos autores. Complementando, portanto, o raciocínio anterior, tem-se que o efeito do calor gerado resultará na decomposição dos microorganismos encontrados na região. A partir disso, DeBano (1981) explicitaram na obra que:

> O calor gerado pelo fogo faz com que os compostos orgânicos hidrófobos resultantes da decomposição das plantas e microorganismos sejam vaporizados pelo calor, condensando

> seguidamente à superfície das partículas minerais do solo, mais frias, situadas mais abaixo de acordo com o gradiente de temperatura. (DEBANO, 1981, p. 2)

Como em seu posicionamento anterior, DeBano (1981)refletiram que a questão é mais séria do que o imaginado, uma vez que é formada uma camada hidrófoba, que se sobrepõe à camada superficial após a queimada observada. Esta, terá uma composição mais espessa, e é formada quando a temperatura atinge um grau elevado. Os autores evidenciam a visão de que:

> Forma-se assim uma camada hidrófoba logo após a camada mais superficial hidrófila, composta por cinzas e partículas minerais, resultante da passagem do fogo. A camada hidrófoba é formada quando a temperatura excede os 176º C e é destruída a temperaturas superiores a 288º C. (DEBANO, 1981, p. 2)

No momento em que a característica dos solos é possuir essa camada hidrófoba, a água não apresenta a capacidade de umedecer os agregados, e a capacidade de infiltração acaba sofrendo uma defasagem abrupta. Assim, o fogo é um ponto que afeta determinantemente o escoamento da bacia. Os efeitos deste, geralmente, são mais fáceis de identificar as origens, contudo a decorrência pode persistir e se manter por um longo tempo. Grande número de estudos, inclusive, apontam essa redução de taxas de infiltração do solo, aumentando, proporcionalmente, os coeficientes observados do escoamento direto e superficial, sobretudo imediatamente após a prática da queimada na região em questão. Por isso, além da redução na proteção da superfície – em decorrência do decréscimo da cobertura vegetal –, a hidrofobia do solo também tende a aumentar.

5.3 Desmatamento

O desmatamento é coordenado a partir das diferentes mudanças de cobertura; termo geral designado para que uma área seja desflorestada, extinguindo fauna e flora de uma região, devastando-a gradual e permanentemente. Bruijnzeel (1990) e Jordan (1985) exploram o termo sob

duas ponderações. Segundo o primeiro, é preciso avaliar o desmatamento de forma a avaliar, provisoriamente, as alterações ambientais que ocorrem e aplacam a região. Já o segundo define o conceito separando-o como pequeno, intermediário e alto, variando-se, máxime, de acordo com o impacto póstero produzido na região.

De acordo com Tucci (2003), em embasamento adquirido a partir das pesquisas de Bruijnzeel (1990) e Jordan (1985), ele ressalta que:

> Segundo Bruijnzeel é necessário definir o desmatamento de acordo com o nível de alteração que ocorre na área. Jordan definiu em pequeno, intermediário e alto, de acordo com o impacto que produz na mata natural. Os principais elementos do desmatamento são: o tipo de cobertura pelo qual a floresta é substituída e o procedimento utilizado para desmatamento. (2003, p. 39)

Além dos fatores levantados pelos autores supracitados, um ponto de grande importância circunda a partir do uso da superfície. Dessa forma, o desmatamento abrangerá dois específicos fatores em consequência, contendo, consigo, elementos a serem utilizados no futuro próximo na região em questão; serão estes: a cobertura de substituição da região desflorestada; e o procedimento utilizado.

Consequentemente, variadas situações poderão ser constatadas, uma vez que solos distintos sofrerão diferentes ações. Resumidamente, Collischonnet al. (2001) exemplificaram o conceito supracitado de forma breve a seguir que:

> [...] após o desmatamento de florestas naturais ocorre aumento da vazão média na bacia hidrográfica. Ainda segundo estes autores, quando são implantadas culturas agrícolas em lugar da vegetação natural, os impactos podem ser diferenciados; no caso de culturas perenes, como o café, a alteração no escoamento é amenizada em comparação com culturas anuais, especialmente quando não é utilizado o plantio direto. (*apud* DOS SANTOS, GRIEBELER & DE OLIVEIRA, p. 5, 2010)

Por meio da contextualização anterior acerca das vazões mínimas, médias e máximas, aglutinadas ao exemplo levantado por Collischonn (2006), pode-se observar o seguinte estudo proposto acerca de iniciais investigações:

> A expansão da área de agricultura, que se deu basicamente sobre áreas anteriormente ocupadas por vegetação nativa e pastagens, em termos absolutos, respondeu pela maior alteração na cobertura vegetal, que foi de 117 km²; as referidas áreas foram ocupadas, ao

> longo da bacia, por culturas anuais e perenes utilizando-se basicamente, a técnica de preparo convencional do solo, na qual se tem, de maneira geral, redução da infiltrabilidade do solo em função da perda de matéria orgânica e também da compactação, devido ao tráfego intenso de máquinas agrícolas utilizadas no preparo do solo, o que indica tendência de aumento das vazões médias. (COLLISCHONN, 2006, p. 5)

Por meio disso, constatou-se que, inicialmente, seguindo as situações apresentadas, o aumento das vazões médias fora percebida na constatação levantada. De modo a notar como o meio rural se “comportaria”, levantou-se também a hipótese deste modelo observado no meio urbano. Partindo deste princípio investigado no meio rural, o meio urbano teve a seguinte característica:

> As áreas urbanas inseridas na bacia hidrográfica do ribeirão João Leite aumentaram em 157%. Embora proporcionalmente pequena na bacia, a ocupação da classe urbanização teve um aumento de 51 km². Do ponto de vista hidrológico, devido à impermeabilização da superfície do solo ocorre, em áreas urbanas, uma redução drástica da infiltração propiciando o aumento do escoamento superficial implicando, assim, em aumento de vazões máximas e médias e, por outro lado, reduzindo as vazões mínimas (Bruijnzeel, 1989) ficando evidente, portanto, que as alterações na cobertura vegetal da bacia do ribeirão João Leite no período de 1979 a 2005, tendem a proporcionar aumento do escoamento em detrimento da redução da capacidade de infiltração e interceptação em algumas áreas e, em outras, das diferentes características fisiológicas da nova vegetação implantada. (COLLISCHONN, 2006, p. 5)

Assim, é fundamental entender como uma bacia hidrográfica como a bacia do ribeirão João Leite apresentou resultados a serem utilizados como base do trabalho de pesquisa em questão que busca a simulação de uso e cobertura do solo sobre o que afetará no ciclo hidrológico.

5.3.1 Métodos de desmatamento

A maneira como é feito o desmatamento rege grande ingerência nas situações de futuros escoamentos da bacia hidrográfica. É a questão levantada por Dias e Nortcliff (1985), quando os autores encontraram uma importante correlação entre o grau de compactação do solo desmatado e o número de

tratores utilizados no processo. Assim sendo, ambos salientaram, em Tucci (2003), que:

> A forma como o desmatamento é realizado influencia as condições de escoamento futuro da bacia. [...] Lal (1981) mostrou que o aumento do escoamento superficial utilizando desmatamento manual, uso de tratores de arraste e tratores como lâminas para arado são, respectivamente, 1%, 6,5% e 12% da precipitação. (TUCCI, 2003, p. 43)

O desmatamento manual, embora mais caro quando comparado aos demais, provoca impacto menor. Ressaltando Lal (1981) é possível perceber que os aumentos do escoamento superficial são de 1%, 6,5% e 12% da precipitação, usando o desmatamento manual, uso de tratores de arraste e tratores com lâminas para arado, respectivamente, tal como salienta Tucci (2003) em seu estudo. Esses dados não só mostram os efeitos, como também desprende uma reflexão sobre as consequências do desmatamento e as alterações do percentual de precipitação efetiva.

5.3.2 Cobertura de substituição

Cobertura de substituição é aquela que toma o lugar da cobertura anterior do solo. Tucci (2003) exemplifica dois casos de mudança de cobertura que geram impactos ambientais negativos. Assim, para o autor:

> i) Extração madeireira: extrair madeira envolve não só o uso da mesma na indústria, como também a construção de rodovias. Estas, por sua vez, correspondem aos maiores impactos ambientais gerados em uma determinada região. ii) Agronegócio e pecuária: o processo de desmatamento é realizado de forma manual e, por fim, seguido pelas queimadas que antecedem períodos de chuva. Ocorre, assim, o plantio sobre as cinzas. (TUCCI, 2003, p. 38)

Dessa maneira, a cobertura de substituição envolve, de acordo com Tucci (2003), tipos de cobertura após o desmatamento, utilizadas para compor uma nova safra e ou construção de estruturas, no caso exemplificado das rodovias.

5.3.2.1 Tipos de cultura

A partir de Tucci (2003), define-se a cultura de permanência, que faz referência ao plantio, como o próprio nome sugere, permanente. Ou seja, a planta dará o fruto produzido durante o decorrer dos anos. Já a cultura anual faz necessário o plantio com frequência após a colheita de cada safra. Estes dois tipos de cultura terão impactos diferentes sobre o escoamento, sendo:

> i) culturas de permanência: neste tipo de cultura (cafeicultora e fruticultora, por exemplo) há um impacto considerado importante sobre o escoamento. Depois de balanceado, o impacto hídrico sofrerá a variação proporcional, dependendo do comportamento desta cultura. Assim será até seu estabelecimento final. ii) cultura anual: diferentes plantios são realizados ao longo de um determinado período. Há a preparação do solo em específicas épocas do ano, provocando desproteção do solo em períodos chuvosos. (TUCCI, 2003, p. 39-40)

Observa-se, assim, a partir do estudo do autor, que os diferentes tipos de plantio acarretarão em diferentes impactos no ciclo hidrológico, sobretudo relacionados com os métodos de plantio.

5.3.2.2 Métodos de plantio

Tucci (2003) ressalta que os métodos de plantio, por outro lado, são os convencionais (consevacionistas) e plantio direto. No conservacionista, após colheita, revolve-se o solo podendo haver uso intensivo de maquinário, em seguida, semeia-se o plantio anual novamente. Por outro lado, o plantio direto faz referência à plantação sobre a palha e os demais restos vegetais – que antes eram descartados no método convencional. O plantio direto visa diminuir o impacto da agricultura e das máquinas agrícolas sobre o solo, assim, protegendo-o.

> i) Conservacionista: acompanha as curvas de nível, utilizando o terraceamento. Com o intuito de evitar erosão, dano às culturas e direcionar o escoamento, esse tipo de plantio consegue criar melhores condições para infiltração em períodos de chuva com baixa ou ainda média intensidade. ii) Plantio direto: nesse tipo de cultura há a utilização e o aproveitamento da anterior. Realizado de forma direta sobre plantio antes cultivado, a tendência é de infiltração da água, e escoamento sub-superficial. (TUCCI, 2003, p. 41-42)

De forma bastante simples, Tucci (2003) esquematiza os diferentes usos da superfície de maneira didática, a fim de explorar uma forma extraordinária de significar como os diferentes usos do solo impactam aquela região de alguma forma. Tal como, o autor define:

> O maior impacto sobre esse sistema [extração seletiva da madeira] envolve a construção de estradas, devido a grande área envolvida e a capacidade erosiva gerada pela superfície desprotegida. [...] O desmatamento [para plantio de subsistência] é realizado manualmente seguido por queimada antes do período chuvoso e depois do plantio sobre as cinzas. [...] Esse processo [culturas anuais] envolve a preparação do solo (aragem) em determinadas épocas do ano, resultando na falta de proteção do solo e épocas que podem ser chuvosas. [...] [O método Conservacionista] utiliza o terraceamento, que acompanha as curvas de nível, para direcionar o escoamento e evitar a erosão e o dano às culturas. [...] Esse tipo de plantio (direto) não revolve a terra e é realizado diretamente sobre o que restou do plantio anterior. (TUCCI, 2003, p. 39-42)

Por meio disso, Tucci (2003) define as consequências das ações, bem como delimita, mesmo que resumidamente, os processos utilizados e suas respectivas influências no solo da região e, por consequência, no ciclo hidrológico.

5.3.3 Desflorestamento e Reflorestamento

A mudança no uso do solo tem grande influência no que tange o aproveitamento da água e o consequente reuso desta água. Por meio disso, o desflorestamento e o póstero reflorestamento estão associados a pilares incertos de sustentação. Tucci (2005), então, levanta a hipótese do pouco conhecimento acerca das mudanças na estrutura do solo, quando o foco se dá apenas na mudança da cobertura vegetal (de florestas para pasto, por exemplo – do desflorestamento para o reflorestamento). Por meio disso, é claro e evidente o modo como o comportamento das regiões analisadas terão influência direta do tipo de reflorestamento analisado, infringindo diretamente no ciclo da água daquela região. Desta maneira, o autor relata um importante ponto para o processo de avaliação:

> As previsões do impacto do desmatamento e reflorestamento geralmente estão associadas com algumas incertezas. De fato,

> muitos estudos de modelos referentes a esses impactos focam apenas na mudança de cobertura vegetal e ignoram mudanças auxiliares nas estradas florestais, estrutura do solo ou abandono. (TUCCI, 2005, p. 280)

No momento em que uma parcela de floresta é desmatada, árvores já não conseguem mais exercer com eficiência a evapotranspiração. Parte importante da água extraída do solo, desta feita, não é evaporada, o que proporciona à região a característica de um clima seco. Isso ocorre porque o desmatamento acarreta na redução do teor de água observado no solo e, consequentemente, de águas subterrâneas – caso haja, além de prejudicar a umidade atmosférica. Além de acometer complicações notórias no solo, na atmosfera e em reservas subterrâneas, é perceptível a redução da coesão do solo, o que provoca, em resultante, propícios alagamentos, deslizamentos, inundações e erosão da região.

Com a redução de cobertura das florestas, proporcionalmente perde-se a capacidade da paisagem em reter a chuva. Sem ter a capacidade de prender a chuva, o processo de infiltração tende a diminuir. Ocorre, assim, um efeito de que áreas desmatadas promovem, ao solo, a capacidade de aumentarem o escoamento superficial, provocando com que a água se mova muito mais rápido do que com a cobertura florestal da região. Um transporte mais rápido das águas pelo solo pode significar, em grande escala, em inundações, cheias e alagamentos localizados – tal qual poderia ser evitado com uma cobertura florestal eficiente e natural. Viola (2011) destaca que:

> Tem-se, por exemplo, a análise do reflorestamento de áreas degradas o qual, do ponto de vista hidrológico, devido ao considerável aumento nas taxas de evapotranspiração e de interceptação, resulta em redução no escoamento. Entretanto, no âmbito de conservação dos solos, podem ocorrer melhorias nas condições de permeabilidade do perfil (BONELL et al., 2010) e proteção contra a erosividade das chuvas, e, por consequência, de erosão e assoreamento, com efeitos positivos sobre a qualidade das águas (VIOLA, 2011, p. 28).

Dessa forma, Viola (2011) explicita, a partir de Bonell et al (2010) que aumento da evapotranspiração e da interceptação resultam numa menor taxa de escoamento, fazendo a ressalva, no entanto, de que do ponto de vista de conservação do solo, melhores condições de permeabilidade podem surgir, bem como proteção à erosão provocada pela precipitação.

6. Impactos da alteração do uso e cobertura do solo sobre os componentes do ciclo hidrológico

Há evidências que caracterizam que o regime hidrológico afetado tem, como consequência, a interferência da vegetação sobre o próprio ciclo avaliado. É importante ressaltar, segundo Niehoffa, Fritscha, & Bronstertb (2002), para tanto, que "alterações no uso do solo exercem influência sobre o ecossistema como um todo" (*apud* Riebsame, 2002, p. 3). Estes acontecimentos "afetam o ciclo hidrológico, a biodiversidade, o balanço da radiação e tantos outros processos" (*apud* Riebsame, 2002, p. 3).Sob conjunção da transpiração, interceptação e capacidade de infiltração da água no solo – tal como salientam dos Santos, Griebeler & de Oliveira (2010)–, a intercessão da vegetação sobre o ciclo será imediata “e, desta forma, modificações no uso do solo praticadas na bacia hidrográfica tendem a promover modificações no escoamento na bacia.” (p. 2)

Ao perceber as influências da alteração no uso do solo exercidas no ecossistema como um todo, tem-se como um dos exemplos os impactos sobre a temperatura, levantada em pesquisa realizada no município de Piracicaba, por Coltri (2006). A partir das observações de sazonalidade da cultura da cana-de-açúcar, a autora evidencia que:

> A intensidade das ilhas de calor, ao longo das estações do ano, está intimamente relacionada com a sazonalidade da cultura da cana-de-açúcar. As ilhas de calor da época de entressafra são, em média, 3,5ºC mais intensas que as da época da safra. Por sim, pode-se afirmar que o uso e a cobertura do solo rural e urbano é um dos grandes agentes modificadores do clima local. (COLTRI, 2006, p. 104)

Pensando nos abalos e nas interferências acerca do ciclo hidrológico, estudos recentes têm apontando uma linha de segmento e raciocínio para propor novas medidas que alinhem a gestão dos recursos hídricos, a sustentabilidade e garanta subsídio aos órgãos responsáveis pela manutenção e coordenação. Dessa forma, dos Santos, Griebeler & de Oliveira (2010) ressaltam que:

> Estudos sobre a hidrologia de bacias hidrográficas e sua associação com a variabilidade climática e o uso do solo, consistem em uma demanda atual e de expressiva importância para o estabelecimento de medidas visando ao desenvolvimento sustentável, subsidiando as ações dos órgãos responsáveis pela gestão de recursos hídricos (BOSH & HEWLET, 1982; CALDER, 1993; CHENGET al., 2002; ENGELET al., 2005; FARLEYET al., 2005 *apud* DOS SANTOS, GRIEBELER & DE OLIVEIRA)

Por meio disso, autores como Bruinjnzeel (1988) e Andreassian (2004) definiram que o estudo das alterações na vegetação, bem como os consequentes impactos sobre o escoamento, poderiam ser observados a partir da aplicação quanto às pesquisas envolvendo o aprofundamento nos estudos dos ecossistemas e da hidrologia de bacias hidrográficas. Sendo isso, dos Santos, Griebeler & de Oliveira (2010) constatam que “os impactos das alterações na vegetação da bacia hidrográfica sobre o escoamento podem, de maneira geral, ser avaliados em termos de vazões mínimas, médias e máximas” (p. 4)

6.1 Impacto sobre a precipitação

As variáveis do ciclo hidrológico apresentam alternância após o desflorestamento, podendo ocorrer os seguintes efeitos, segundo Tucci (2003):

> i) aumento do albedo. A floresta absorve maior radiação de onda curta e reflete menos; ii) maiores flutuações da temperatura e déficit de tensão de vapor das superfícies das áreas desmatadas;iii) o volume evaporado é menor devido à redução da interceptação vegetal pelo desflorestamento; (iv) maior estabilização da umidade de profundidades superiores a 3,6 m. (TUCCI, 2003, p. 44)

A redução da evapotranspiração não ocasiona alterações significativas nos índices pluviométricos. Visto que o sistema climatológico local depende majoritariamente dos movimentos de massas de ar globais. Mooley e Parthasarathy (1983) examinaram, em 306 estações de monitoramento na Índia, a tendência da oscilação em torno da precipitação média no período entre os anos de 1871 e 1980. Mesmo as áreas em torno dos postos terem sofrido intenso desflorestamento no decorrer desses anos, não foi possível encontrar evidência estatística de que houve alteração de tendência.

> Com a redução da evaporação pode-se esperar um efeito na precipitação, mas o sistema climatológico local depende muito pouco da evaporação da superfície da área. Quando a precipitação local depende principalmente dos movimentos de massas de ar globais, o efeito da alteração da cobertura é mínimo. (TUCCI, 2003, p. 44)

O autor, inclusive, traz o detalhe e chama a atenção para um número grande de ensaios com modelos GCM (Global ClimateModels) que têm sido realizados sobre o comportamento da Amazônia. Estes modelos têm estudado a hipótese de retirada total da floresta e substituição pelo pasto (Nobre et al., 1991). Os resultados com estes modelos têm previsto a redução de até 50% da evapotranspiração e 20% na precipitação. Isso ocorre devido a grande dependência que a região pode ter no ciclo interno de evaporação e precipitação, entretanto há também possíveis incertezas da modelagem. Segundo Schuttleworth et al. (1990), estes resultados devem ser observados com cautela. Segundo McCulloch e Robinson (1993), não existe comprovação de efeito sobre a precipitação no que tange a inserção ou retirada de floresta.

6.2 Impacto sobre a infiltração

A umidade do solo é um fator essencial para a evapotranspiração em condição de floresta. Em análise de Hodnett et al. (1995) *apud* Tucci (2003), a partir de observações na Amazônia, fora constatada variação temporária na umidade do solo em profundidades que ultrapassavam os 2 metros. Notou-se, mormente, maior verificação de umidade no interior da floresta, uma vez que as árvores costumam retirar a umidade a uma profundidade que supera os 3,6 metros.

> Pode-se observar [com o estudo], que a umidade do solo depleciona muito mais quando existe floresta, devido a capacidade da mesma em retirar umidade do solo em profundidades maiores e pela transpiração das plantas. (TUCCI, 2003, p. 46)

Além desta análise proposta por Tucci (2003), Ribeiro Neto (2006) traz dados referentes a um apanhado de estudos de acordo com os impactos sobre a infiltração, ponderando que:

> Em virtude da ocorrência das estiagens e da pequena capacidade de armazenamento do solo na Amazônia, a vegetação avança suas raízes para profundidades que ultrapassam 8 m (NEPSTAD et al., 1994). Entretanto, deve-se ressaltar que a maior concentração de raízes encontra-se nos primeiros centímetros de solo como no caso de um solo coberto com floresta em Paragominas (PA) onde 45% das raízes encontram-se nos primeiros 10 cm (JIPP et al., 1998). Ainda na cidade de Paragominas (PA), NEPSTAD et al. (1994) realizaram experiências durante a estiagem de 1992 em uma área com floresta e outra com pastagem. Observou-se que mais de 75% da água extraída do solo é proveniente das camadas localizadas entre 2 e 8 m. A área com floresta apresentou uma variação de armazenamento de 510 mm e a área com pastagem 410 mm. Os autores afirmam que essa característica é comum na Amazônia e ajuda a explicar porque a floresta mantém-se verde mesmo em locais que possuem extenso período de seca. SOMMER et al. (2003) em trabalho realizado em área de floresta secundária no município de Igarapé-Açu (PA), fizeram uso de medições em campo e de um modelo SVAT para determinar o processo de retirada de água do solo pelas raízes. Verificou-se que durante os dois anos de análise (1997-1998), as raízes retiraram água de até 6 m de profundidade, sendo que cerca de 72% do total transpirado foi retirado dos 0,9 m superiores, 12% da camada entre 0,9 e 3,0 m e 15% da camada entre 3,0 e 6,0 m. (RIBEIRO NETO, 2006, p. 112)

As pesquisas e ponderações acerca das análises da climatologia sazonal permitem a verificação da distribuição de precipitação ao longo de um ano. Posposto, é possível estabelecer, bem como antever, se haverá disponibilidade de água na região para viabilizar a evapotranspiração. Um caso que pode afetar a evaporação corresponderia às diferentes elevações percebidas no terreno; a incidência solar e a velocidade do vento são fatores que ocasionam variabilidade da evaporação da umidade do solo, de cursos d'água e de reservatórios.

> A distribuição da precipitação ao longo do ano e sua intensidade permitem estabelecer se existirá disponibilidade de água para evapotranspirar. Numa região com precipitações concentradas numa parte do ano, por exemplo, no período mais frio, tende a evapotranspirar menos porque a evapotranspiração potencial é menor e as diferenças de desmatamento serão menos acentuadas. (TUCCI, 1997, p. 46)

Solos rasos, ainda, por possuírem pequena capacidade de retenção, têm maior influência sobre o escoamento superficial direto. Em solos onde apresentam-se maiores declives há melhor drenagem. Por esse motivo, o ambiente se torna desfavorável para os processos de evaporação e evapotranspiração.

> [...] numa região com precipitações distribuídas ao longo do ano e concentradas no verão, a retirada da floresta tende a produzir maior impacto no escoamento, já que no período de maior

> evapotranspiração potencial, existe disponibilidade de água tanto na interceptação da vegetação, como no solo [...]. [Além disso], solos com pequena profundidade influenciam menos no processo [de evapotranspiração] devido a sua pequena capacidade. (TUCCI, 1997, p. 46)

Segundo Tucci (1997), portanto, a distância entre a área desmatada e a seção de controle da bacia hidrográfica, como também a parcela da área desmatada, são condições que variam o impacto causado sobre o escoamento. Por exemplo: quanto maior a parcela desmatada, e mais próxima da seção de controle, mais intenso será o impacto – e consequentemente mais danoso – sobre o escoamento.

Anos após o desmatamento, momento em que a vegetação natural se reconstitui, o escoamento tende a se restabelecer na situação que antecedeu o desmatamento. Quando em situações de cultura anual, porém, o efeito do desmatamento sobre o escoamento permanece.

Bonell et al. (2010) estudam os impactos do uso das florestas e do processo de reflorestamento sobre a permeabilidade e condutividade hidráulica dos solos no sudoeste da Índia. Dessa maneira, os autores concluem que:

> i) A baixa permeabilidade superficial dos solos vermelhos e laterita está associada com a degradação das florestas. Essas características dão apoio a noção da perda da macro-porosidade do solo devido ao aumento da compactação e da redução da fauna do solo causadas pela perturbação antrópica durante décadas - como reportado em outras regiões de clima tropical. Logo quando combinados os dados de permeabilidade para todas as florestas degradadas situadas nos solos vermelhos e lateríticos, há um declínio progressivo na condutividade hidráulica ao longo dos perfis de solos. Não há alteração significativa na condutividade hidráulica resultada da pressão antrópica sobre a superfície em contraste com reportagens em outros estudos [citados no artigo] (BONELL et al., 2010, p. 59)

Além disso, os autores citam duas outras conclusões respectivas aos estudos, sendo:

> ii) Após cerca de 10 anos do florestamento com espécies exóticas (*auriculiformes*) sobre os solos vermelhos e lateríticos, foi detectado um pequeno - praticamente ínfimo - aumento na permeabilidade superficial. Porém a condutividade hidráulica superficial ainda permanece baixo nas florestas com plantações de espécies exóticas quando comparado com a maioria das florestas naturais que sofreram menor impacto. Portanto as plantações de acácias ainda guardam "memória" do estado de degradação anterior. Tais circunstâncias são acentuadas pela lenta recuperação da fauna do solo, que está diretamente relacionada a quantidade de matéria orgânica disponível

> nessas florestas de produção. Significativo reflorestamento com plantações de teca sobre os vertissolos possui impacto mínimo sobre a permeabilidade do solo. O processo de coleta e queima da serrapilheira durante a estação seca dentro das plantações de teca mais adiante previne a incorporação de matéria orgânica no solo a fim de evitar influência sobre a infiltração superficial.iii) Os sítios de solos vermelhos possuem a mais consistente e elevada condutividade hidráulica, enquanto nos vertissolos é menor. (BONELL et al., 2010, p. 59)

Embora a baixa permeabilidade do solo possa ser causa da degradação das florestas, quando tomadas medidas de precaução para a conservação ambiental - como o caso de limpeza da matéria orgânica nas plantações de tecas - os impactos antrópicos negativos são minimizados.

6.3 Impacto sobre o escoamento

Na obra de Tucci (2003), o autor apresenta que o efeito de uma cobertura vegetal foi muito mais extenso durante o período mais seco do ano, tal como relata em seu livro. Como retratado, nota-se que bacias contendo florestas, vegetação fechada e precipitações de menor intensidade não produzem significante escoamento superficial direto. Contudo, o autor faz uma ressalva quanto ao caso em questão. Ele afirma que "após um período chuvoso de grande intensidade, quando a capacidade de interceptação da bacia é atingida, o escoamento aparece." (TUCCI, 2003, p. 511). Ainda relata que as diferenças na relação do volume escoado onde há desmatamento são menores.

Os impactos observados sobre o escoamento podem ser divididos em alguns aspectos a serem fragmentados; assim, concomitantemente, abrangendo diferença de estado de umidade do solo, profundidade e declividade do solo e a cobertura que substitui o que antecede o desmatamento, segundo o que apresenta Tucci. Por meio dos efeitos acometidos pelo desmatamento, podem ser percebidos impactos em três indicadores de vazão normalmente avaliados: i) vazão média; ii) vazão mínima; iii) vazão máxima. A fim de alinhar as melhores proposições para o trabalho em

questão, a monografia focará nos conceitos de vazões médias, mínimas e máximas.

6.3.1 Vazões médias

Segundo os experimentos realizados por Bosch e Hewlett (1982) e Bruijnzeel (1990), os efeitos do desmatamento sobre as vazões médias são, apontadas por Tucci (2003) como o desflorestamento, que causa aumento à vazão média, e, em áreas onde há pouca cobertura vegetal, a prática do reflorestamento diminui a vazão média, pois, de acordo com o autor, ““os elementos existentes permitem estimar somente a ordem de magnitude das alterações com base no tipo de vegetação e precipitação” (TUCCI, 2003 p. 49).

Tucci (2003) ainda destaca a partir das pesquisas de Bosch e Hewlett (1982) e Bruijnzeel (1990) que, “ em situações onde o desmatamento é inferior a 20%, é impossível observar alterações na variável vazão média” (TUCCI, 2003, p. 49). Além disso, o autor destaca que:

> a retirada de cobertura de coníferas ou eucaliptos causa aumento de cerca de 40 mm na vazão anual para cada 10% de alteração de cobertura, enquanto que a retirada da rasteira produz aumento de 25 a 10 mm na vazão média, respectivamente, para cada 10% de alteração de cobertura. Estes valores são aproximados, e devem ser utilizados como indicadores (TUCCI, 2003, p. 49).

Assim, de acordo com o que o Tucci (2003) aponta, a vazão média recebe considerável acréscimo inicial (até 800 $mm.ano^{-1}$, em função da precipitação – segundo valores observados pelo autor) quando a floresta natural local é retirada. Assim, ele destacará que:

> após o crescimento da nova vegetação, bem como a consequente estabilização desta vegetação renovada, existe a possibilidade da vazão média ser superior quando comparada com as condições anteriormente observadas ao desmatamento. (TUCCI, 2003, p. 50)

Tucci (2003), já em referência a Edwards (1979), toma como exemplo duas bacias pequenas na Tanzânia. A primeira com cobertura florestal e a

segunda com uso de agricultura tradicional. Durante os 10 anos de experimento, foi possível observar um aumento significativo de 400mm.ano^{-1} na vazão média.

Por outro ponto, segundo apontado na simulação que utiliza o modelo LASH realizada por Viola (2014), consideram-se cenários correspondentes ao reflorestamento da área atual de pastagem, em troca pela cultura de eucalipto em 20% e 50% da área, observa-se um escoamento reduzido em -51,65 mm.ano^{-1} e -110,29 mm.ano^{-1}, respectivamente. Em um cenário que se prevê uma troca por completo da pastagem por eucalipto na região de duas sub-bacias – propensas à situação descrita –, a redução do escoamento foi apontada com -59,49 mm.ano^{-1}. Por fim, os cenários em que foram considerados a situação de desmatamento de fração significativa da floresta na serra da Mantiqueira, onde, logo em seguida, inseriu-se pastagem em proporções de 30% e 70%, observou-se, na simulação, um aumento do escoamento de 57,63 mm.ano^{-1} e 156,78 mm.ano^{-1}, respectivamente.

Em um âmbito geral, a pesquisa de Beskow et al. (2013) teve por objetivo aplicar o modelo hidrológico LASH em uma bacia tropical brasileira a fim de observar o comportamento do escoamento em situação de alteração de uso e cobertura do solo. As variáveis hidrológicas observadas durante a simulação foram a vazão mínima, média e máxima. Para tal:

> Foram avaliados alguns cenários previstos, como a modificação da cobertura de pastagem por eucalipto e vice-versa. Quando simulada a troca da pastagem por eucaliptos, a vazão média sofreu uma redução de 13,84%. Esse cenário é preocupante, visto que a bacia hidrográfica estudada drena para um reservatório importante para a geração de energia no sul do estado de Minas Gerais. Quando simulado o processo inverso - troca da cobertura de eucalipto por pastagem - observou-se um aumento de 0,44% na vazão média. (BESKOW et al., 2013, p. 341)

No estudo de simulação realizado por Ribeiro Neto (2006), utilizando modelo de simulação MCG's, foram considerados três cenários de alteração na cobertura do solo na Bacia do rio Madeira (cobertura atual, reflorestamento total e substituição de toda a cobertura por pastagem). Considerando cada cenário proposto, ao observar os resultados da simulação, notou-se alteração nos escoamentos superficiais:

> No cenário de reflorestamento total, pouca alteração no regime de escoamento fora percebido, por exemplo. Resultado que pode ser explicado pelo fato de que a bacia em estudo ainda possui 80% de sua cobertura florestal natural. Já no caso de simulação do desflorestamento de toda a cobertura da bacia e futura substituição por pastagem, alterações nas vazões foram notadas. A aplicação do modelo resultou em um incremento de 28% na vazão média dos rios Ji-Paraná e Aripuanã. (RIBEIRO NETO, 2006, p.151)

A pesquisa realizada por Thanapakpawin et al. (2006), utilizando modelo DHSVM, avaliou a resposta hidrológica da bacia hidrográfica do rio Mae Chaem - localizada no noroeste da Tailândia -, a alterações na cobertura do solo da bacia. Como por exemplo, ao desmatamento da floresta e inserção de plantios de cultura e vice-versa. Os quesitos avaliados na bacia hidrográfica foram a produção de água, variação espacial da umidade do solo e evapotranspiração. Os autores afirmam que:

> Foram também considerados os efeitos da irrigação sobre as variáveis hidrológicas afetadas. Um aumento de área de plantio (cenário 2) causaria uma redução de 9% na vazão média anual. Quando comparado o cenário 3 (maior área de cultura em terras altas) com o cenário 4 (maior área de cultura em terras baixas), o resultado observado na simulação foi um aumento de 8,6% da vazão média anual. As simulações realizadas com o cenário 2 e 4 produziram os mesmos resultados. (THANAPAKPAWIN et al., 2006, p. 226)

Já o estudo de Costa, Botta & Cardille (2003) avaliou os impactos de alteração na cobertura do solo sobre a vazão, evapotranspiração e o coeficiente de escoamento em uma área de 175.360 km² captação na bacia do rio Tocantins, localizada no bioma cerrado. Segundo o estudo, o exutório do rio Tocantins possui uma vazão média anual de cerca de 11.000 m³/s e a precipitação média anual da bacia é cerca de 1600 mm. Os autores afirmam "Tendo em vista o alto potencial hidroenergético da região, os recursos hídricos da bacia possuem monitoramento de longa data." (COSTA, BOTTA e CARDILLE, 2003, p. 209)

Costa, Botta e Cardille (2003) avaliaram dois períodos com diferentes coberturas de solo. O primeiro (1949-1968) com menor uso do solo, e o segundo (1979-1998) com maior uso. Os cenários consideraram os percentuais de 30,2% e 49,2% de cobertura agrícola para os períodos 1 e 2, respectivamente. Como produto final da simulação, os autores constataram que:

> Uma comparação inicial do período 1 com o período 2 mostra um aumento na precipitação na ordem de 0,13 mm.dia^{-1} (3%) e um aumento no coeficiente de escoamento de 0,237 para 0,285. De um ponto de vista hidrológico, o dado de maior relevância é que o escoamento na bacia aumentou em 24%. (COSTA, BOTTA & CARDILLE, 2003, p. 212)

Embora a diferença na precipitação durante a estação chuvosa, segundo os autores, seja insignificante, a vazão média dos meses de alto escoamento aumentou 28% quando comparados os períodos 1 e 2. Além disso, os picos sazonais passaram a ocorrer com um mês de antecedência. Logo, pode-se afirmar que os resultados referentes ao aumento da vazão de longo termo e maior coeficiente de escoamento são condizentes com a mudança na superfície do solo.

6.3.2 Vazões mínimas

É possível encontrar na literatura experimentos que mostram alterações da variável hidrológica vazão mínima após realizado o desmatamento. Assim afirma Tucci (1997):

> Quando as condições de infiltração após o desmatamento ficam deterioradas, por exemplo o solo fica compactado pela energia da chuva, a capacidade de infiltração pode ficar reduzida e aumentar o escoamento superficial, com a redução da alimentação do aquífero. De outro lado, se a água que não é perdida pela floresta, atinge o solo e infiltra, o aquífero tem uma maior recarga, aumentando as vazões mínimas. (TUCCI, 1997, p.148)

No estudo de Viola (2014), em cenários que consideraram a troca de área de pastagem por cultura de eucalipto em 20% e 50%, a correspondência, utilizando o modelo hidrológico LASH, foi de uma redução do escoamento superficial observada na simulação. Em algumas sub-bacias, em que se proponha uma alteração por inteiro de pastagem para eucalipto, estima-se uma redução da vazão mínima em -8,35%, o que implica na vazão outorgável e na qualidade da água.

Na pesquisa realizada por Beskow et al. (2013), quando simulado o cenário que considera a troca da cobertura de pastagem por eucalipto, foi observada uma redução da vazão mínima em 7,39%. Já no cenário inverso -

troca de eucalipto por pastagem - foi possível constatar um aumento de 0,23% na variável hidrológica em questão.

Ribeiro Neto (2006) observou uma redução de cerca de 37% na vazão mínima dos rios Ji-Paraná e Aripuanã quando simulado um cenário de desmatamento total e troca por pastagem.

Quando simulada a situação incremento de áreas cultivas no estudo de Thanapakpawin et al. (2006), pode-se observar um decréscimo de 16% na vazão mínima anual. Porém, quando comparados os resultados do cenário 3 (maior área de cultura em terras altas) com o cenário 4 (maior área de cultura em terras baixas), a vazão mínima aumentou em 16%.

6.3.3 Vazões máximas

Em variadas biografias não se é raro encontrar o desmatamento como fator de aumento ou diminuição das vazões mínimas. O que caracterizará o caso de prolongamento ou redução desta variável será o uso do solo após o supramencionado desmatamento; além disso, as suas prévias condições também são um fator a considerar. Assim, Tucci (2005) considera que:

> O que pode caracterizar um caso do outro [aumento ou diminuição da vazão mínima], depende do uso do solo após o desmatamento e das suas condições prévias. (TUCCI, 2005, p. 508)

Das condições de infiltrações pós-desmate, estas ficarão deterioradas, uma vez que o solo fica compactado pela energia provinda das chuvas. Dessa forma, a capacidade infiltração destas poder-se-á reduzir. Por outro lado, haverá o aumento do escoamento, sobretudo ao limitar a alimentação do aquífero. Por meio disso, tem-se, em oposição, o excedente que não é evaporado pela superfície após desmatamento. Ele terá condições melhores de infiltração, a recarga do aquífero será constante e a vazão mínima, consequentemente, aumentará. Por meio desse raciocínio, Tucci (2005) traz que:

> (...) as condições de infiltração após o desmatamento ficam deterioradas, por exemplo, o solo fica compactado pela energia da chuva, a capacidade de infiltração pode ficar reduzida e aumentar o escoamento superficial, com redução da alimentação do aquífero. (TUCCI, 2005, p. 508)

É importante ressaltar, porém, que este processo depende muito do manejo que o solo terá após ser desmatado o que ali havia. Por exemplo, quando após desmate a área é utilizada para culturas anuais de plantio direto, haverá a tendência de uma maior regularização das vazões mínimas e também médias. Além destas condições propostas, há, ainda, a limitação da bacia ali existente, para garantir uma vazão mínima adequada. Exemplificando isso, o autor ressalta:

> Este processo pode ocorrer dependendo do manejo do solo. [...] Além destas condições [manejo e utilização do solo], existe a própria limitação da bacia em garantir uma vazão mínima. (TUCCI, p. 508)

Como exemplo trazido pelo autor tem-se bacias que apresentam profundidade do solo, como também capacidade de armazenamento do aquífero ali localizados, pobres. A procedente retirada da cobertura não demonstrará alterações excessivas nas condições de estiagens a quais serão enfrentadas.

Na simulação realizada por Viola (2014) em que foram considerados cenários de desmatamento da parcela florestal da região da serra da Mantiqueira, e, logo após, a inserção de pastagem em proporções estipuladas de 30% e 70%, verificou-se um aumento nas vazões máximas, em 15,02 $mm.ano^{-1}$ e 43,13 $mm.ano^{-1}$, respectivamente. Segundo o autor, este aumento da vazão máxima na bacia hidrográfica do rio Grande poderá resultar em complicações futuras, como no caso de potenciais cheias e inundações.

Em Beskow et al. (2013), pode-se observar uma redução de 20,38% na vazão máxima quando realizada a simulação inserindo o cenário que pressupõe a troca da cobertura de pastagem pela cultura de eucaliptos. Já no cenário que considera a troca da cultura de eucaliptos por pastagem nota-se, no resultado da simulação, um aumento de 1,19% na variável vazão máxima.

Na tese de Ribeiro Neto (2006), o autor estudou o comportamento da variável hidrológica vazão máxima durante uma simulação realizada na

Amazônia. Foi constatado um aumento de 50% na vazão máxima nos rios Ji-Paraná e Aripuanã quando considerado o cenário de desflorestamento total e troca por pastagem.

Na pesquisa realizada por Thanapakpawin et al. (2006), quando comparado um aumento da área cultivada na bacia hidrográfica do rio Mae Chaem, observou-se, através de simulação, que haveria diminuição de 6% da vazão máxima anual.Porém, quando comparados os resultados do cenário 3 (maior área de cultura em terras altas) com o cenário 4 (maior área de cultura em terras baixas), a vazão máxima aumentou em 6%.

6.4 Impacto sobre a evapotranspiração

Costa, Botta e Cardille (2003), em estudo, consideram a alteração na cobertura do solo em grandes proporções (aumento de 19% da área agrícola durante os períodos 1 e 2) na bacia do rio Tocantins, sudeste da Amazônia. A simulação - que busca retratar os impactos nos componentes do ciclo hidrológico -, aponta que, mesmo a metade do escoamento possa ser explicada a partir do aumento da precipitação, expõe-se uma mudança na relação na diminuição da evapotranspiração, a ser associada a um outro meio, dessa forma:

> Embora cerca de metade do aumento do escoamento possa ser explicado pelo aumento da precipitação, a diminuição da evapotranspiração pode ser relacionada a outro mecanismo, que não as variações climáticas. Ao observar as séries históricas da região, pode-se notar que a evapotranspiração tende a aumentar em conjunto com a precipitação. Porém, a evapotranspiração diminuiu [0,11mm por dia], mesmo havendo um aumento na precipitação ao longo dos períodos 1 e 2. Esse fato indica que outros mecanismos que exercem influência sobre a evapotranspiração foram modificados, provavelmente a própria troca da vegetação. (COSTA, BOTTA & CARDILLE, 2003, p. 212)

Por outro ponto, a pesquisa realizada por Thanapakpawinet al. (2006), quando comparado um aumento da área cultivada na bacia hidrográfica do rio Mae Chaem, observou-se um aumento de 3% na evapotranspiração do local.

Já o estudo de Alves, Fish & Vendrame (1999) analisou a evapotranspiração em dois locais no município de Ji-Paraná, Rondônia. O primeiro local foi uma região nativa de floresta tropical, e o segundo, um sítio onde ocorreu desmatamento. A distância entre os dois locais de estudo é de aproximadamente 80 km. Segundo os autores:

> A evapotranspiração da floresta foi, em média, 1,0 $mm.dia^{-1}$ maior que a da pastagem, no período de análise: enquanto a evapotranspiração média para a floresta foi 4,1 $mm.dia^{-1}$, esse valor foi 3,1 $mm.dia^{-1}$ para a pastagem. No período seco, a evapotranspiração média foi 4,5 $mm.dia^{-1}$ para a floresta e 3,4 $mm.dia^{-1}$ para a pastagem. No período chuvoso, a evapotranspiração média foi 3,6 $mm.dia^{-1}$ para a floresta e 2,7 $mm.dia^{-1}$ para a pastagem. O maior valor da evapotranspiração na floresta foi influenciado pela maior energia disponível para os processos evaporativos neste sítio. No sítio de pastagem, a diminuição da evapotranspiração no período chuvoso não pode ser explicada pela quantidade de energia disponível. Foi observado um maior valor do saldo da radiação no período chuvoso em relação ao período seco e esta maior energia disponível não acarretou um aumento da evapotranspiração. Este fato indica que o termo aerodinâmico foi o responsável pela diminuição da evapotranspiração no período. Foi observado que a velocidade do vento foi menor no período chuvoso, em ambos os sítios. Uma menor velocidade do vento implica numa maior resistência aerodinâmica e consequentemente uma menor evapotranspiração. No sítio de floresta também não houve aumento do saldo de radiação no período seco. Neste sítio, o maior valor da velocidade do vento no período seco também foi o fator responsável pela maior evapotranspiração, em relação à evapotranspiração da estação chuvosa. (ALVES, FISH & VENDRAME, 1999, p. 401-402)

Segundo Alves, Fish e Vendrame (1999), o saldo de radiação, na floresta,foi cerca de 1,7 $MJ.m^{-2}$ por dia maior quando comparado ao sítio de pastagem. Fato que equivale a uma disponibilidade de 17% a mais de energia para a evapotranspiração no local de floresta. Logo, considerando o período e região analisados, a substituição da vegetação florestal por pastagem provocou uma redução de 24% no valor da evapotranspiração.

7. Considerações Finais

No trabalho de conclusão de curso em questão, buscou-se realizar uma revisão bibliográfica que teve, por intuito, explorar os conceitos envolvendo a

avaliação de impactos de alteração no uso e cobertura do solo sobre o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas.

Dessa forma, a revisão proposta serve como um alicerce para futuros estudos dentro das pesquisas envolvendo os recursos hídricos. A importância do trabalho se deve ao fato de reunir a base teórica e evidências que retratam estudos de caso que, a partir da observação sobre a prática do desmatamento, revelam o aumento percentual nas vazões médias, mínimas e máximas, além de uma diminuição na evapotranspiração e ainda a impossibilidade de se aferir sobre os impactos do desmatamento na precipitação, visto que esta é um fenômeno que depende da movimentação de massas de ar em escala global, no entanto faz-se necessário destacar de que existe a possibilidade de modificar o microclima de uma região em questão.

Além disso, o processo de infiltração também é igualmente prejudicado pelo desmatamento, visto que pela falta de interceptação, a chuva aterrissa ao solo com uma energia maior e acaba compactando a camada superficial do solo, favorecendo o escoamento superficial direto e, consequentemente, favorecendo a erosão hídrica.

Já em cenários de reflorestamento, observa-se um aumento na infiltração e na evapotranspiração, consequentemente uma diminuição na parcela de escoamento superficial direto.

Portanto, o trabalho surge como uma fonte de informação a servir de base para futuras pesquisas que visam abranger estudos referentes à avaliação de impactos de alteração no uso e cobertura do solo, além de demais linhas de pesquisas na área. A carência de maiores referências literárias nacionais, onde questões pontuais sejam expostas de modo mais amplo acabam por não ampliar tanto o estudo dos impactos hidrológicos quando da alteração de uso e ocupação do solo. No entanto, é válido destacar que este estudo não visa esgotar as pesquisas e futuros aprofundamentos sobre um assunto que tem sido objeto de pesquisa no âmbito acadêmico cada vez mais com o passar dos anos.

8. Referências Bibliográficas

ALVES, F.S.M., FISCH, G. e VENDRAME, I.F., “Modificações do microclima e regime hidrológico devido ao desmatamento na Amazônia: estudo de um caso em Rondônia (RO), Brasil”. ActaAmazônica, v. 29, n. 3, p. 395-409. 1999.

BALBINOT, AA. Jr. Formas de uso do solo no inverno e sua relação com a infestação de plantas daninhas em milho (Zea mays) cultivado em sucessão. Directory of Open Access Journals. Vol. 26, Number 3, 2008, pp. 569-576(8).

BERTOL, I. Escoamento superficial em diferentes sistemas de manejo em um Nitossolo Háplico típico, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.12, n.3, p.243–250, 2008.

BESKOW, S.; MELLO, C. R.; NORTON, L. D.; CURI, N.; VIOLA, M. R.; AVANZI, J.. C. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. Catena, Amsterdam, v. 79, p. 49 - 59, 2009.

BESKOW, S., NORTON, L. D. e MELLO, C. R.,.*Hydrological Prediction in a Tropical Watershed Dominated by Oxisols Using a Distributed Hydrological Model*. Water Resour Manage, p. 341-363, 2013.

BEVEN, Keith J., *Rainfall-Runoff Modelling (ModelosChuva-Vazão)*: Editora Wiley, 2001 (1 ed. 1988).

BLAINSKI, Éverton, SILVEIRA, Fábio A., CONCEIÇÃO, Gérson, GARBOSSA, Luis H. P., VIANA, Luiz F. *Simulação de cenários de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Araranguá utilizando a técnica da modelagem hidrológica*. Agropecuária Catarinense, v.24, n.1, mar. 2011.

BONELL, M. et al. *The impact of forest use and reforestation on soil hydraulic conductivity in the Western Ghats of India: Implications for surface and sub-surface hydrology.*Science Direct in: Elsevier. Journal of Hydrology / ed. 391, p. 47–62. 2010.

BORMANN, Helge, Breuer, Lutz, GRÄFF, Thomas, HUISMAN, Johan A.,*Analysing the effects of soil properties changes associated with land use changes on the simulated water balance: A comparison of three hydrological catchment models for scenario analysis*, Science Direct in: Elsevier, ed. 209, p. 29-40, Alemanha, agosto de 2007.

BRUIJNZEEL, L.A., 1990. Hydrology of Moist Forests and the Effects of Conversion: A State of Knowledge Review, Free University, Amsterdam, p. 224.

COLLISCHONN, Bruno.*Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído*. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS. 193 p., de 2006.

COLTRI, P. P. *Influência Do Uso E Cobertura Do Solo No Clima De Piracicaba, São Paulo: Análise De Séries Históricas, Ilhas De Calor E Técnicas De Sensoriamento Remoto*. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 167 p., de 2006.

COSTA, Marcos H., BOTTA, Aurélie, CARDILLE, Jeffrey A. *Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia*. Science Direct in: Elsevier. Journal of Hydrology ed. 283, p. 206–217, de 2003.

DEBANO, Leonard F. Water Repellent Soils: a state-of-the-art. Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station P.O. Box 245, Barkeley, California from United States Departament of Agriculture, 21 p., de 1981.

D. LOHMANN , E. RASCHKE , B. NIJSSEN & D. P. LETTENMAIER (1998) Regional scale hydrology: I. Formulation of the VIC-2L model coupled to a routing model, Hydrological Sciences Journal, p. 131-141, 2009.

DOS SANTOS, Eduardo H. M., GRIEBELER, Nori P., DE OLIVEIRA, Luiz F. C. *Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite.* Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.14, n.8, p.826–834, de 2010.

FEKETE, Balázs M. et al. *Uncertainties in Precipitation and Their Impacts on Runoff Estimates*. Journal of Climate in: American Meteorological Society, vol. 17, p. 294-303, de 2004.

FERREIRA, Da Costa C. *Previsão de Vazões Naturais Diárias Afluentes ao Reservatório da UHE Tucuruí Utilizando a Técnica de Redes Neurais Artificiais.* Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e da Computação) – Programa de Pós–Graduação da Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação da Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, 117 p., de 2012.

FRANCHINI, Marco, Michele, PACCIANI*. Comparative Analysis Of Several Conceptual Rainfall-Runoff Models*. J. Hydrol.,Universidae de Bologna, Itália. ed. 122. p. 161-219, de 1991.

KRUSCHEA. V. et al.*Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia.* Acta Amazônica, vol. 35 (2): p. 197 – 205, de 2005.

MELLO, C. R. D.; SILVA, A. M. D. Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. 1ª. ed. Lavras: UFLA, 2013. 343 p.

MERTEN, Gustavo H. MINELLA, Jean P*. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura*. Agroecol. eDesenvol. Rur. Sustent. Porto Alegre, v.3, n.4, out/dez 2002.

NIEHOFF D., FRITSCHA U., BRONSTERTB A. *Land-use impacts on storm-runoff generation: scenarios of land-use change and simulation of hydrological response in a meso-scale catchment in SW-Germany.* Science Direct in: Elsevier. Journal of Hydrology, ed. 267, p. 80-93, de 2002.

RIBEIRO NETO, *A. Simulação Hidrológica na Amazônia: Rio Madeira*. Tese de Doutorado, COPPE, UFRJ, 195 p., de 2006.

THANAPAKPAWIN P. et al.Effects of landuse change on the hydrologic regime of the Mae Chaem river basin, NW Thailand, Journal of Hidrology, Science Direct in: Elsevier ed. 334, p. 215-30, de 2006.

TUCCI, Carlos E.M., *Clima e Recursos Hídricos no Brasil*: 1 ed. Porto Alegre: ABRH, 2003.

TUCCI, Carlos E. M., CLARKE, Robin. *Impacto Das Mudanças Da Cobertura Vegetal No Escoamento: Revisão*. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 2, nº.1, p. 135-152, de 1997.

TUCCI, Carlos E. M. *Impactos Da Variabilidade Climática E Uso Do Solo Sobre Os Recursos Hídricos*. Estudo preparado como contribuição da ANA – Agência Nacional de Águas para a Câmara Temática sobre Recursos Hídricos do Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, 150 p., de 2002.

TUCCI, Carlos E.M., *Modelos Hidrológicos*: 2 ed. Porto Alegre: ABRH/UFGS, 2005.

TUNDISI, José G. *Recursos Hídricos no Futuro: Problemas e Soluções*. estudos avançados 22 (63), p. 7-16, de 2008.

VIOLA, M. R., MELLO, C. R., BESKOW, S., NORTON, L. D. *Impacts of Land-use Changes on the Hydrology of the Grande River Basin Headwaters, Southeastern Brazil*. Water Resour Manage in: Springer Science+Business Media Dordrecht. Vol. 28, p. 4537–4550, de 2014.

VIOLA, Marcelo R. *Simulação Hidrológica Na Cabeceira Da Bacia Hidrográfica Do Rio Grande De Cenários De Usos Do Solo E Mudanças Climáticas A1b.* Tese (Doutorado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras. Lavras-MG. 287 p., de 2011.

VON STACKELBERG, N. O., CHESCHEIR, G. M., SKAGGS, R. W., AMATY, D. M. *Simulation Of The Hydrologic Effects Of Afforestation In The Tacuarembó River Basin, Uruguay.* American Society of Agricultural and Biological Engineers Vol. 50, ed. 2: p. 455-468, 2007.