

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**PEGADA HÍDRICA DA BACIA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU: UMA NOVA
ABORDAGEM METODOLÓGICA**

PRISCILLA PASSOS LACERDA

ORIENTADOR: PROF. HENRIQUE M. L. CHAVES, PhD

**BRASÍLIA – DISTRITO FEDERAL
JULHO/2015**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**PEGADA HÍDRICA DA BACIA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU: UMA NOVA
ABORDAGEM METODOLÓGICA**

Acadêmico: Priscilla Passos Lacerda, Matrícula 10/0019510

Orientador: Prof. Dr. Henrique M.L. Chaves – EFL/UnB

*Monografia apresentada ao Departamento
de Engenharia Florestal da Universidade de
Brasília, como parte das exigências para
obtenção do título de Engenheiro Florestal.*

**BRASÍLIA – DISTRITO FEDERAL
JULHO/2015**

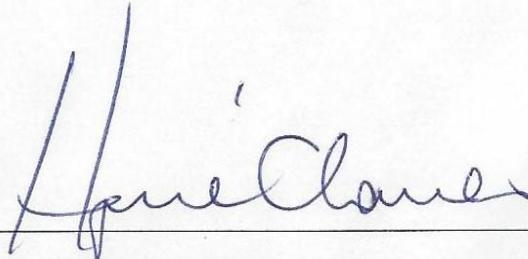
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**PEGADA HÍDRICA DA BACIA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU: UMA NOVA
ABORDAGEM METODOLÓGICA**

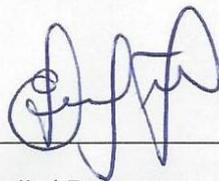
Acadêmico: Priscilla Passos Lacerda, Matrícula 10/0019510

Menção: 5'S'

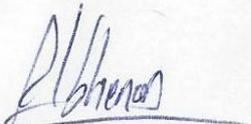
Aprovada por:



Prof. Dr. Henrique Chaves / Departamento de Engenharia Florestal-UnB
(Orientador)



Prof. Dr. Eraldo Matricardi / Departamento de Engenharia Florestal-UnB
(Examinador Interno)



Albano Henrique de Araújo, MSc / Alfa Consultoria
(Examinador Externo)

*“Ou quem encerrou o mar com portas,
quando este rompeu e saiu da madre;
Quando eu pus as nuvens por sua vestidura, e a
escuridão por faixa?
Quando eu lhe tracei limites, e lhe pus portas e
ferrolhos,
E disse: Até aqui virás, e não mais adiante, e
aqui se parará o orgulho das tuas ondas?”
Jó 38:2-11, Bíblia Sagrada*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao bom Deus, aquele que dentre muitas bênçãos me deu a graça de estar entregando este trabalho e realizar um curso em uma instituição de ensino renomada.

A meus pais Wilson Martins Lacerda e Rose Mary P. P. Lacerda que sempre me apoiaram em meus projetos e nas poucas vezes que não o fizeram, foi com a intenção de eu me tornar uma pessoa mais madura.

Ao meu orientador, Henrique Chaves, o qual foi paciente e incentivador ao me apresentar todos os passos da confecção deste Trabalho de Conclusão de Curso, e me ensinou com seu exemplo a importância de ser uma pessoa comprometida com seus objetivos, suscitando minha paixão pela área de recursos hídricos. Bem como a outros integrantes do EFL/UnB que foram de suma importância durante o curso: Professor Eraldo Matricardi, doutorando Fabrício Assis Leal e a Ana e Flávia, da secretária.

Aos meus amigos, companheiros de graduação que me apoiaram nos momentos mais complicados da universidade, assim como torceram pelo meu sucesso pessoal e profissional. Destaco aqui: Paulo Duarte, que muito me auxiliou nessa fase final de curso, Isabela Baptista, João Carrijo e Danielle Passos, que desde 2010 vêm deixando sua pegada na minha vida.

À minha família da fé, que fez a diferença nesses últimos dois anos.

E também aos exemplares profissionais da EMATER/DF que muito me acrescentaram, ensinando a servir os produtores rurais com um trabalho de qualidade e a entender a importância da gestão ambiental: Priscila Silva, Icléa Almeida, Anne Caroline, Marcos Lara, Sumar Magalhães, Revan Soares. A oportunidade de trabalhar com o Programa Produtor de Água da Bacia do Pípiripau foi uma experiência valiosa para minha formação profissional.

Agradeço aos órgãos que disponibilizaram dados relevantes para o andamento deste trabalho: CAESB e EMATER/DF bem como aos integrantes da banca examinadora, Prof. Eraldo e Albano Araújo, por aceitarem esse convite e pelas contribuições a este trabalho.

A todos que, de uma maneira ou de outra, deixaram sua pegada na minha vida.

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi apresentar uma nova abordagem metodológica para o cálculo da pegada hídrica total em bacias hidrográficas e quantificar a pegada hídrica total para uma bacia, considerando tanto a metodologia tradicional como uma nova metodologia. A Pegada Hídrica (PH) mede o volume de água doce apropriado direta e indiretamente pelo homem, sendo uma ferramenta útil na gestão integrada de recursos hídricos. O estudo foi realizado na bacia do Ribeirão Pípiripau (DF/GO), o qual possui 235 km² de área e onde há problemas de quantidade (conflitos de uso de água) e de qualidade (erosão, poluição química, etc.). O período analisado foi entre os anos de 2012 a 2014. A PH foi calculada de acordo com a teoria de Hoeskstra *et al.*(2011), mas com abordagem metodológica focada nos processos hidrológicos da bacia, diferenciada de outros trabalhos na literatura. Ademais, foi proposto um método alternativo para a PH_{verde}, no qual esta foi comparada com a evapotranspiração das áreas de vegetação natural. Na metodologia tradicional, a pegada hídrica total na bacia foi de 3,42 m³/s, com índice de sustentabilidade da bacia de 47,89%. As PH_{azul}, PH_{verde} e PH_{cinza} representaram 18%, 59% e 22% da PH_{total} da bacia. Na metodologia alternativa, a PH_{verde} foi desconsiderada, uma vez que o consumo de água da vegetação original (cerrado) foi superior àquela das lavouras e pastagens. Neste caso, a PH_{total} foi de 1,39 m³/s e o índice de sustentabilidade da bacia foi de 69,5%. Dessa forma, entende-se que a gestão da bacia deve ser direcionada para reduzir as fontes de consumo de água azul e cinza, enquanto que o consumo de água verde apresenta-se sustentável e disponível para uso em plantios em sequeiro, reforçando que tal atividade econômica é ambientalmente viável.

Palavras-Chave – pegada hídrica, bacia hidrográfica, metodologia alternativa.

ABSTRACT

The objective of this study was to present a new methodological approach for the calculation of the total water footprint in watersheds and quantify total water footprint for a basin, considering both the traditional methodology and the new methodology. The Water Footprint (WF) measures the volume of freshwater direct and indirectly appropriate by man, being a useful tool in an integrated water resources management. The study was conducted at the Ribeirão Pipiripau's basin (DF/GO), which has 235 km² of area and where there are number of problems (conflicts about water use) and quality (erosion, chemical pollution, etc.). The study period was between the years 2012 to 2014. The WF was calculated according to the Hoeskstra's theory et al. (2011), but with a methodological approach focused on hydrological processes in the basin, differentiated of other works in literature. Furthermore, an alternative method is proposed for WF_{green} , in which the WF_{green} was compared to evapotranspiration of natural vegetation areas. In the traditional method, the total water footprint in the basin was 3.42 m³/s, with the basin's sustainability index of 47.89%. The WF_{blue} , WF_{green} and WF_{gray} accounted for 18%, 59% and 22% of basin's WF_{total} . In the alternative methodology, the WF_{green} was disregarded, since the water consumption of the original vegetation (*cerrado*) was superior to that of crops and pastures. In this case, the WF_{total} was 1.39 m³/s and the sustainability's index of the basin was 69.5%. Thus, it is understood that the basin's management should be directed in order to reduce the sources of blue and gray water consumption, while the consumption of green water is presented as sustainable and affordable for use in dryland crops, reinforcing that such economic activity is environmentally feasible.

Keywords – water footprint; watershed; alternative methodology..

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - DADOS INSERIDOS PARA O CÁLCULO DE EVT DE CADA CULTURA DE SEQUEIRO PRODUZIDO NA BACIA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU NO ANO DE 2014.....	26
TABELA 2 - PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA AVALIADOS PARA O CÁLCULO DA PH _{CINZA} E SUAS CONCENTRAÇÕES: ATUAL (POSTO FRINOCAP), MÁXIMA (LEGISLAÇÃO CONAMA) E NATURAL (POSTO FUMAL).	28
TABELA 3 - VALORES (M ³ /S) E PERCENTUAL (%) DOS COMPONENTES DA PEGADA HÍDRICA DA BACIA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU, NO PERÍODO ENTRE 2012/2014, OBTIDOS PELA TEORIA TRADICIONAL E ALTERNATIVA.	30

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. - LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU.	19
FIGURA 2. . PRECIPITAÇÃO MENSAL MÉDIA NA DA BACIA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU NO PERÍODO ENTRE 2012 E 2014.	20
FIGURA 3- USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
FIGURA 4. CÁLCULO DA PH AZUL.....	2ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
FIGURA 5. OFERTA E DEMANDA DE ÁGUA NA BACIA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU.	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
FIGURA 6. PEGADA HÍDRICA CINZA DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE ANALISADOS	30
FIGURA 7. VALORES DE PH VERDE DAS PRINCIPAIS CULTURAS DA BACIA	30

_Toc423620605

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo Geral	12
2.2	Objetivos Específicos.....	12
3	JUSTIFICATIVA.....	12
4	REVISÃO DE LITERATURA	13
4.1	Pegada Hídrica e sua Aplicação	13
4.2	Bacia Hidrográfica e a Problemática Hídrica no DF	15
4.3	Bacia do Ribeirão Pípiripau e sua Problemática Hídrica	16
5	MATERIAL E MÉTODOS	17
5.1	Caracterização da Área de Estudo	17
5.2	Pegada Hídrica pelo Método Tradicional	20
5.2.1	Pegada hídrica azul	20
5.2.2	Pegada hídrica verde	21
5.2.3	Pegada hídrica verde alternativa.....	23
5.2.4	Pegada hídrica cinza.....	23
5.3	Índice de Sustentabilidade da pegada hídrica na bacia hidrográfica .	24
5.4	Cálculo da pegada hídrica na bacia do Ribeirão Pípiripau	25
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
7	CONCLUSÃO	32

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso renovável, no entanto alguns fatores têm colocado em risco sua capacidade natural de renovação e o equilíbrio do ciclo hidrológico. Os principais fatores são: a distribuição desigual de água doce no mundo e intensas pressões promovidas sobre este recurso. Estas pressões crescentes são resultado do crescimento demográfico acelerado, da mudança de hábitos alimentares e de consumo da população. Esta realidade é preocupante visto que o consumo de água dobrou em relação ao crescimento populacional e em todo o mundo há indícios de redução da vazão dos rios, esgotamento de águas subterrâneas e deterioração da qualidade da água (ONU, 2012; ONU, 2007; POSTEL, 2000).

Este cenário preocupante também ocorre no Brasil, apesar de o país apresentar uma grande oferta hídrica. Preocupações com a má distribuição, crescente demanda e piora na qualidade dos mananciais têm recebido atenção no cenário nacional. Desde 2012, observa-se também uma diminuição da oferta de água para abastecimento em algumas regiões do País, especialmente nas mais populosas e com maior demanda hídrica. Setores de irrigação e energia hidrelétrica também estão sendo comprometidos pela falta de chuva e pelo menor volume de água nos reservatórios (BRASIL, 2015).

No Distrito Federal, este cenário não é diferente: a região está situada no divisor de águas de três importantes bacias hidrográficas brasileiras (LIMA, 2001) e onde as demandas de água são crescentes, com os mananciais sendo ameaçados pela ocupação humana desenfreada.

Azevedo e Barbosa (2011) afirmam que a disponibilidade de água doce no DF é baixa e alguns mananciais têm sofrido severos conflitos de uso e qualidade da água. Este é o caso das bacias Lago do Descoberto e Ribeirão Pípiripau, aonde vem ocorrendo um aumento preocupante na demanda por água principalmente para irrigação e abastecimento público. Estas bacias já estão com sua capacidade de vazão comprometida por causa do grande número de usuários (CARRAMASCHI, 2000).

Com o objetivo de gerir de forma adequada os recursos hídricos do Brasil e DF, existem algumas legislações relevantes, como a Lei Nº 9.433, que instituiu a

Política Nacional de Recursos Hídricos. Além de um marco legal moderno, o Brasil dispõe de Agências Reguladoras de Água, de Conselhos de Recursos Hídricos e Comitês de Bacias Hidrográficas. Todo esse conjunto de leis permite ações de monitoramento da qualidade e quantidade de água, bem como a realização de medidas de mitigação. Um importante avanço estabelecido pela Lei N° 9.433/97 foi a adoção de bacias hidrográficas como unidade de planejamento e gestão de recursos hídricos (AZEVEDO e BARBOSA, 2011).

Considerando a problemática exposta, fica evidente a necessidade de estudos que identifiquem, espacial e temporalmente, as principais fontes de impacto aos recursos hídricos para que assim possam ser tomadas providências eficientes e eficazes. Também é importante quantificar a capacidade dos sistemas em absorver os impactos ambientais (SILVA *et al.*, 2013).

Nesse sentido, Hoekstra *et al.* (2011) propuseram o conceito de pegada hídrica, que permite mensurar o volume de água doce apropriado pelo homem, direta e indiretamente, inclusive o volume necessário para a assimilação de poluentes. A pegada hídrica é dada em volume de água por tempo, permitindo sua comparação com a oferta de água atual, dada pela vazão.

A pegada hídrica, portanto, é uma ferramenta útil para o entendimento e quantificação do uso dos recursos hídricos do país, seja na formulação de políticas públicas, seja no monitoramento das pressões exercidas sobre os mananciais. A pegada hídrica pode ser contabilizada para pessoas, setores produtivos ou uma região geográfica, como bacias, com vários trabalhos publicados em diferentes regiões do mundo. No entanto, Freitas e Chaves (2014) e Empinotti (2013) reportaram que são raros os trabalhos referentes à Pegada Hídrica no Brasil, principalmente no tocante a bacias.

Considerando o exposto, o presente trabalho busca avaliar a pegada hídrica total da bacia do Ribeirão Pípiripau (DF/GO), utilizando tanto a metodologia tradicional com uma abordagem alternativa, baseada em processos hidrológicos, e propor medidas para mitigação, afim de que seja possível uma gestão adequada dos recursos hídricos da Bacia.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Calcular a Pegada Hídrica (PH) da Bacia do Ribeirão Pípiripau, localizada na região nordeste do Distrito Federal, usando a metodologia tradicional e uma nova abordagem metodológica, baseada em processos hidrológicos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Apresentar uma nova abordagem metodológica como foco nos processos hidrológicos para cálculo da Pegada Hídrica total em bacias hidrográficas.
- ✓ Calcular as Pegadas Hídricas (PH) azul, verde e cinza da bacia do Ribeirão Pípiripau, de acordo com metodologia tradicional;
- ✓ Calcular a Pegada Hídrica Total da bacia;
- ✓ Desenvolver uma nova metodologia para estimar a PH_{verde} ;
- ✓ Calcular a PH_{verde} e a PH_{total} da bacia, utilizando a nova abordagem;
- ✓ Apresentar o índice de sustentabilidade da pegada hídrica e calculá-lo para a bacia do Ribeirão Pípiripau e
- ✓ Identificar medidas mitigadoras para reduzir a PH.

3 JUSTIFICATIVA

A aplicação da ferramenta de Pegada Hídrica à Bacia do Ribeirão Pípiripau se justifica pela necessidade de reconhecer as principais fontes de impactos à sua quantidade e qualidade de água, de forma que eles possam ser adequadamente mitigados, permitindo o aumento da segurança hídrica por meio de gestão adequada e cientificamente embasada.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 PEGADA HÍDRICA E SUA APLICAÇÃO

A Pegada Hídrica é um indicador da apropriação de água doce pelo homem considerando suas diversas dimensões e usos diretos e indiretos. Ela pode ser adotada por diferentes setores da sociedade, tanto na contabilização do volume de água usado para produzir bens e serviços, como na avaliação dos impactos em áreas geográficas (cidade, país ou bacia hidrográfica) (CHAPAGAIN e TICKNER, 2012 e HOEKSTRA *et al.*, 2011).

A base teórica tradicional da Pegada Hídrica, apresentada por Hoekstra *et al.*(2011), é caracterizada por separar e classificar a água de acordo com sua fonte: água azul, água verde e água cinza. Isto permite uma análise mais completa, gerando três tipos de Pegadas Hídricas: azul, verde e cinza.

A pegada hídrica azul de um produto é conceituada pelo consumo de água azul (superficial e subterrânea que é extraída dos corpos hídricos) ao longo de sua cadeia produtiva. Esse consumo ocorre quando a água evapora, retorna a outra bacia, mar ou é incorporada em um produto (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

A pegada hídrica verde, por sua vez, representa o consumo de água verde, que inclui água da chuva armazenada no solo e consumida pelas plantas ou infiltrada, sem escoamento.

Já a pegada hídrica cinza refere-se à poluição e é definida como o volume de água doce necessário para diluir a carga de poluentes presentes no efluente, resultante de processos produtivos ou de impactos locais e regionais. Para tanto, leva-se em consideração as concentrações naturais e de padrões de qualidade da água exigidos pela legislação vigente (LEÃO, 2012; HOEKSTRA *et al.*, 2011).

A pegada hídrica pode ser expressa em volume de água por unidade de produto ou em volume de água por unidade de tempo. Quando ela é dividida pela quantidade de produtos resultantes do processo, a pegada hídrica é expressa como volume de água por unidade de produto (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

Assim, a Pegada Hídrica apresenta-se como uma importante ferramenta para diagnósticos ambientais, visto que fornece informação espacial e temporal específica sobre a eficiência de processos produtivos, o planejamento no uso do

solo, a escassez e pressão sobre a qualidade da água, a poluição dos recursos hídricos, entre outros. Dessa forma a PH permite uma visão mais completa e complexa sobre o uso direto e indireto dos recursos hídricos (LEÃO, 2012 e HOEKSTRA *et al.*, 2011).

A bacia hidrográfica é um compartimento de planejamento e gestão dos recursos hídricos devido ao seu caráter integrado. Esta unidade espacial natural permite o entendimento da alocação dos recursos hídricos e avaliação dos impactos causados pela atividade antrópica, que podem acarretar riscos ao equilíbrio e à manutenção da quantidade e a qualidade da água, uma vez que estas variáveis são relacionadas com o uso do solo. As bacias tem grande relevância ambiental, pois formam ecossistemas com o predomínio de uma única saída, possibilitando a realização de uma série de experimentos sendo possível a quantificação das pressões geradas sobre os mananciais (VALENTE & CASTRO, 1981; FERNANDES & SILVA, 1994; CARMO e SILVA, 2010).

Sendo assim, a bacia hidrográfica apresenta-se como um compartimento adequado para análises ambientais e é essencial para a abordagem metodológica desenvolvida neste trabalho, visto que são analisados dados do exutório da bacia. Esta abordagem é recomendada para pequenas e médias bacias, visto que em bacias grandes há perda de detalhamento dos dados.

Na literatura ainda são raros os estudos sobre a pegada hídrica com foco em bacias hidrográficas específicas (ZENG *et al.*, 2012) e os existentes costumam focar nos setores produtivos, não fazendo uso dos benefícios ocasionados ao utilizar a bacia hidrográfica como compartimento integrado de análise. Estudos sobre grupos de consumidores ou setores produtivos são mais comuns, no entanto consideraram apenas as frações verde e azul, desconsiderando a Pegada Hídrica Cinza (EMPINOTTI, 2013). Isto decorre de uma dificuldade da sua estimativa com a metodologia tradicional, devido à complexidade e a necessidade de uma análise integrada.

Aldaya e Llamas (2008) calcularam a PH da área rural da bacia do rio Guadiana, entre Portugal e Espanha. Foram calculados apenas os componentes azul e verde dos cultivos agrícolas mais representativos, e o componente azul para usos industriais, domésticos e dessedentação animal. Os autores concluíram que a agricultura é o setor com a maior Pegada Hídrica.

Feng *et al.* (2012), analisando a bacia do Rio Amarelo, concluíram que o uso doméstico urbano consome mais do que o dobro do volume de água usado pelo setor rural. Isto decorreu, segundo os autores, do maior consumo, pelas famílias urbanas, de bens e serviços, tais como alimentos processados, vestuário, calçados, serviços de hotelaria e eletrificidade.

Zeng *et al.* (2012), analisando a bacia do rio Heng (China), consideraram apenas os componentes azul e verde da PH, para os setores agrícola, pecuária, industrial e doméstico. Esses autores concluíram que o setor agrícola contribuiu com 96% da PH (92% para a produção vegetal e 4% para a produção de gado), com os restantes 4% representados pelos setores industrial e doméstico.

Na Bacia do Ribeirão Pipiripau, foi calculada a pegada hídrica cinza resultante do fósforo, oriundo das áreas de lavoura (FREITAS e CHAVES, 2014). Nesse estudo, os autores concluíram que a pegada hídrica cinza foi de 42 L/s, representando 24% da disponibilidade de água, dada pela vazão média anual do ribeirão.

4.2 BACIA HIDROGRÁFICA E A PROBLEMÁTICA HÍDRICA NO DF

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da chuva que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída (PORTO e PORTO, 2008). Sendo assim, a bacia é considerada como um sistema e nela se realizam os balanços de entrada e saída de água através do exutório, sendo, por isso, a unidade ideal de gestão dos recursos hídricos.

Toda e qualquer área de ocupação humana, seja ela de atividade industrial, urbana, agrícola ou de preservação, faz parte de uma bacia hidrográfica. Além disso, toda consequência destas formas de ocupação do solo, como também a utilização das águas, acarretam reflexos perceptíveis no exutório da bacia.

Apesar de toda importância ambiental, social e econômica que as bacias hidrográficas oferecem, muitas delas têm sofrido perturbações e poucas medidas de recuperação e gestão ambiental vem sendo realizadas. Araújo *et al.* (2009) reportam que, na América do Sul, as bacias hidrográficas têm sido consideravelmente alteradas nos últimos anos em função do desenvolvimento industrial, do crescimento desordenado das cidades e a da superpopulação. O efeito conjunto desses vários

fatores é a deterioração das bacias hidrográficas, o que pode comprometer a produção de energia e a segurança hídrica.

O Distrito Federal (DF) é divisor de águas das três principais bacias hidrográficas do Brasil: a bacia do Paraná, São Francisco e Tocantins. Sendo assim, ocorre influência hidrológica direta sobre outras regiões do país (LIMA, 2001 e FERRANTE *et al.*, 2000).

A conservação das bacias do Distrito Federal se faz necessária, pois os rios da região são de pequeno porte e de baixas vazões, sendo, portanto, mais sujeitos a impactos, tanto em termos de quantidade como de qualidade.

Infelizmente, alguns mananciais do DF têm sofrido severos conflitos de uso e qualidade da água. Este é o caso das bacias Lago do Descoberto e Ribeirão Pípiripau, aonde vem ocorrendo um aumento preocupante na demanda por água, principalmente para irrigação e abastecimento público. Estas bacias já estão com sua capacidade de vazão comprometida por causa do grande número de usuários (AZEVEDO e BARBOSA, 2011).

4.3 BACIA DO RIBEIRÃO PÍPIRIPAU E SUA PROBLEMÁTICA HÍDRICA

Diante da ocupação territorial e do intenso crescimento populacional, a Bacia do Ribeirão Pípiripau passou nos últimos 50 anos por uma forte conversão da sua vegetação natural (fisionomias típicas de cerrado) para agricultura e pecuária (CHAVES e PIAU, 2008).

Esta bacia tem relevante interesse social e econômico, pois a maioria da sua população economicamente ativa está envolvida com a agricultura. Nela encontram-se diversas atividades, tais como produção de grãos, hortaliças, frutas e carnes. A prática de olericultura é intensa e exige maior quantidade de água na época da estiagem. Além disso, existe a problemática de grandes perdas de água por infiltração nos canais de irrigação e tanques de armazenamento.

Além da expressiva demanda de água por estas atividades, existe também a demanda por captação de água para abastecimento, realizado pela CAESB, desde o ano 2000. Nesse contexto, a Bacia sofre intenso estresse hídrico no período seco do ano, tendo sua vazão média anual comprometida (BRASIL, 2010).

Estudos realizados por Rocha (2007) indicam que a Bacia do ribeirão Pipiripau não sofre com poluição promovida por fontes pontuais de esgoto. Todavia, o ribeirão Pipiripau possui um dos piores índices de qualidade da água dentre todos os mananciais explorados pela CAESB. O razão desse resultado insatisfatório é o elevado grau de erosão e sedimentação que ocorrem na área, poluindo e degradando a bacia intensamente. Na Bacia do Pipiripau, as áreas com maior risco de erosão estão localizadas na parte mais baixa e em geral estão próximas a cursos d'água (BRASIL, 2010).

O processo de erosão é mais intenso no período chuvoso, em que os sedimentos são arrastados pelas enxurradas até o leito do rio. Esse processo pode promover um intenso assoreamento dos rios, comprometendo o escoamento dos cursos d'água e conseqüentemente a disponibilidade de água a jusante (BRASIL, 2010).

É necessário, portanto, o monitoramento e cuidado por parte dos gestores, moradores e usuários da água. A Pegada Hídrica se apresenta como uma ferramenta de diagnóstico e prognóstico dos impactos aos recursos hídricos da bacia.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia hidrográfica do Ribeirão Pipiripau está localizada no nordeste do Distrito Federal (Figura 1). A Bacia está inserida na bacia do Rio São Bartolomeu, que é a maior do Distrito Federal e formadora das bacias dos rios Paranaíba e Paraná (CAESB, 2001).

A área da bacia é de 23.537 hectares, sendo 90,3% desta pertencente ao DF onde estão situadas partes das Regiões Administrativas de Sobradinho, Planaltina, Paranoá, São Sebastião e Santa Maria. Além disso, também existem três núcleos rurais na área da bacia: Taquara, Pipiripau e Santos Dummont.

A Bacia do Pipiripau está incluída no Bioma Cerrado. As fitofisionomias em maior escala são as matas de galeria e cerrados *strictu sensu* e em menor proporção, os campos, os campos murunduns e os cerradões (CAESB, 2001).

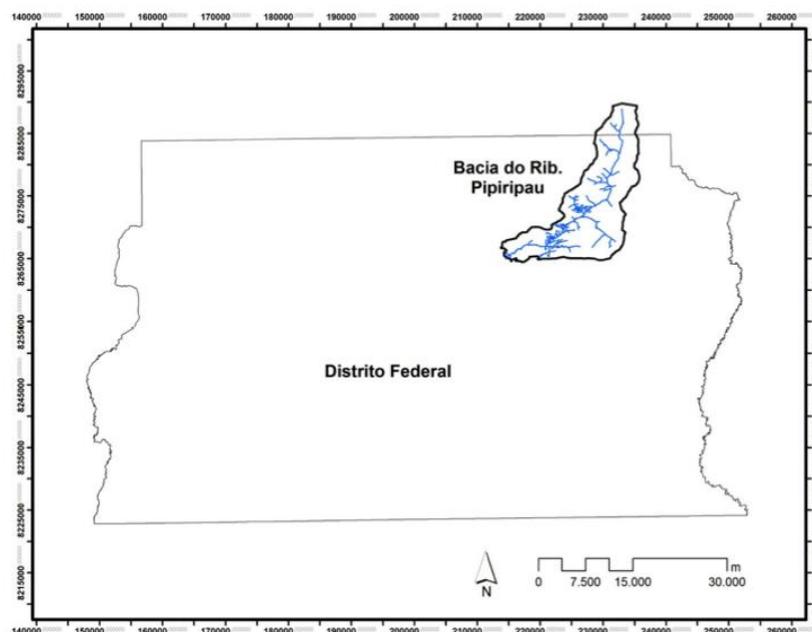


Figura 1. - Localização da Bacia hidrográfica do Ribeirão Pipiripau.

O relevo da Bacia é predominantemente plano a levemente ondulado, e seu padrão de escoamento sugere a baixa probabilidade de enchentes na área. As altitudes da região tem variação entre 905 e 1.225 metros e a declividade média é de 5% (CAESB, 2001).

Com base na classificação de Köppen, o clima da região é Aw- Tropical Úmido com Estação Seca de Inverno, apresentando duas estações bem definidas: verão chuvoso e inverno seco. A precipitação média no período de 2012 a 2014 foi de 1.144 mm.

O período de intensa pluviosidade, quando ocorre 85% da precipitação anual total, vai de outubro a março (Figura 2). O mês de menor precipitação é julho (CAESB, 2001). Além da demanda de água para a irrigação, ocorre na Bacia a captação de água para abastecimento humano.

O solo predominante na bacia é o Latossolo Vermelho (59% da área total da bacia), seguido pelo Latossolo Vermelho Amarelo (15% da bacia) e o Cambissolo (CAESB, 2001; CALIXTO, 2013).

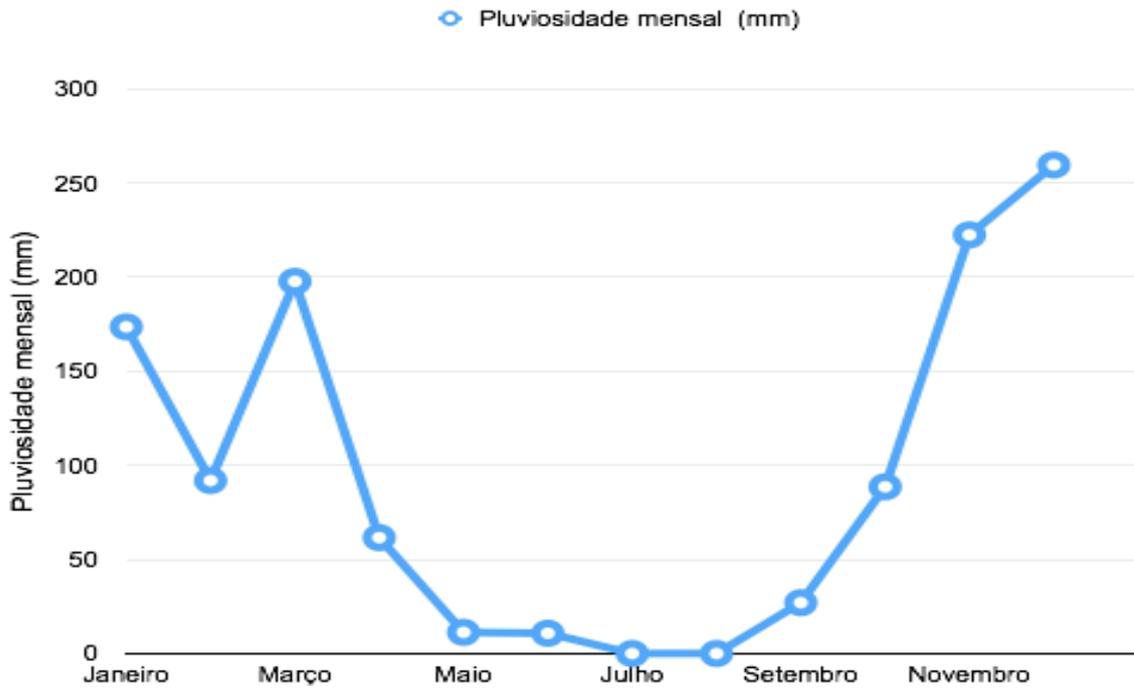


Figura 2. . Precipitação mensal média na da Bacia do Ribeirão Pipiripau no período 2012 a 2014.

O principal tipo de uso e ocupação do solo corresponde à agricultura extensiva, com predomínio de plantios de milho e soja, seguido pelas pastagens e outros cultivos agrícolas. Estas são destinadas principalmente ao plantio de produtos hortifrutigranjeiros como tomate, pimentão, maracujá entre outros e podem ser encontrados galpões para a criação de suínos e aves (HGeo, 2001) (Figura 3).

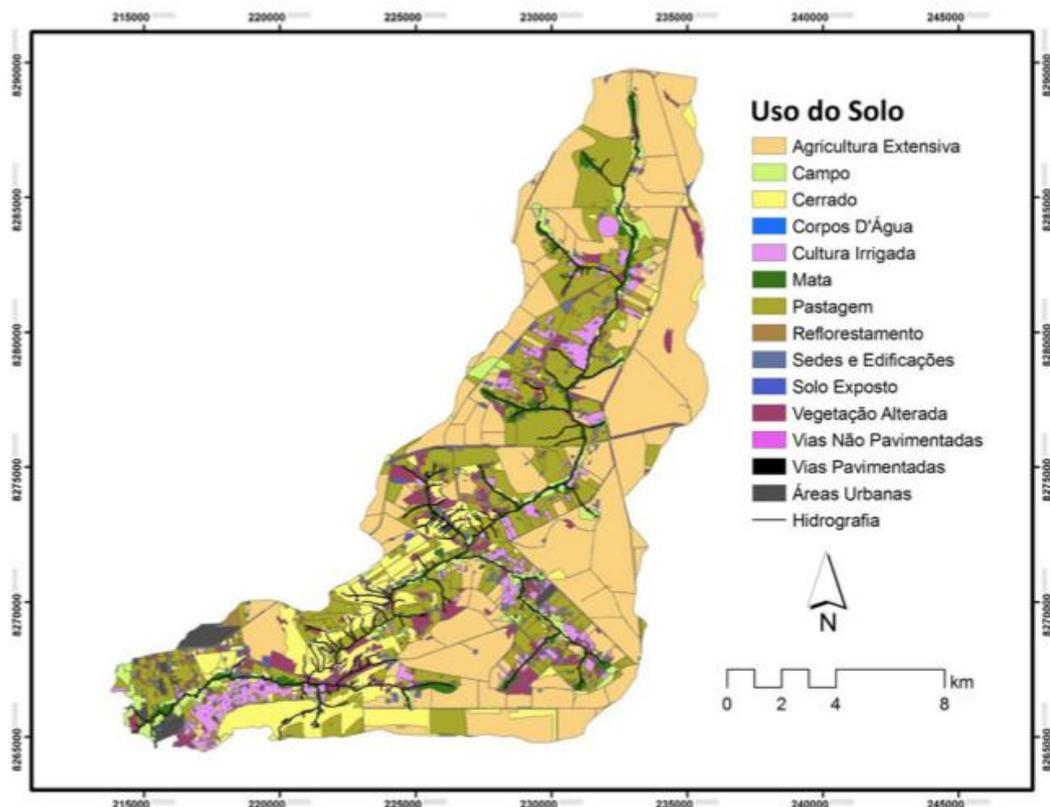


Figura 3 - Uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pipiripau. Fonte: TNC (2009)

5.2 PEGADA HÍDRICA PELO MÉTODO TRADICIONAL

No presente estudo a PH não foi calculada usando as apropriações da água dos setores consultivos e produtivos, mas considerando os processos hidrológicos que ocorrem na bacia, respeitando filosofia da Pegada Hídrica desenvolvida por Hoekstra *et al.* (2011).

A Pegada Hídrica é separada em três componentes: azul, verde e cinza. Cada um foi calculado de forma distinta, sendo a PH total a soma das três.

$$PH_{Total} = PH_{Azul} + PH_{Verde} + PH_{Cinza} \quad (1)$$

Onde: PH_{Total} = Pegada Hídrica Total (m^3/s); PH_{Azul} = Pegada Hídrica Azul (m^3/s); PH_{Verde} = Pegada Hídrica Verde (m^3/s); PH_{Cinza} = Pegada Hídrica Cinza (m^3/s).

5.2.1 Pegada hídrica azul

A PH_{Azul} expressa o volume que foi efetivamente retirado do fluxo total do escoamento (HOEKSTRA *et al.*, 2011), como se observa da Figura 4.

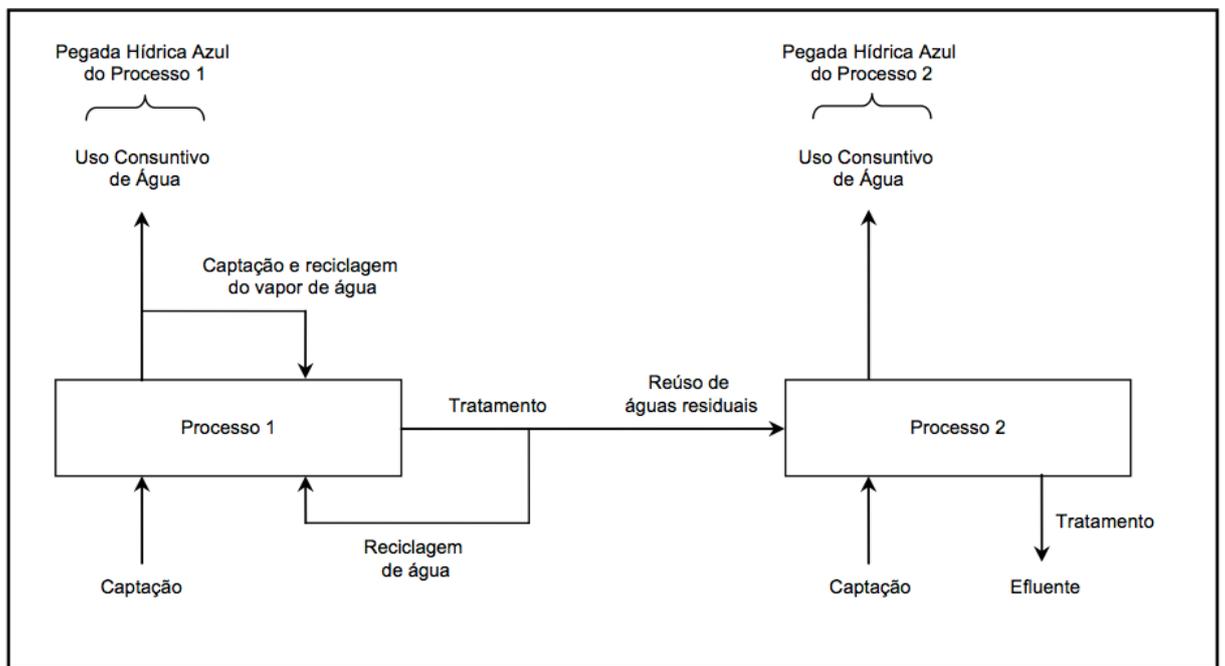


Figura 4. Cálculo da PH Azul. Fonte: HOEKSTRA ET AL. (2011)

Foi assumido que a PH_{azul} é o consumo de água azul pelos principais usuários de água da bacia, e calculado pela diferença entre a vazão retirada dos

cursos d'água da bacia e a vazão retornada. Esta metodologia considera apenas o consumo de água superficial (dominante) e não o subterrâneo.

$$PH_{\text{azul}} = Q_{\text{retirada}} - Q_{\text{retornada}} \quad (2)$$

Onde: Q_{retirada} = Vazão Retirada (m^3/s); $Q_{\text{retornada}}$ = Vazão Retornada (m^3/s)

5.2.2 Pegada hídrica verde

A PH_{verde} corresponde ao total de água da chuva que sofre evapotranspiração (em áreas antrópicas) mais a água incorporada nos produtos agrícolas e florestais colhidos. No entanto, esta última é insignificante comparada com a primeira (HOEKSTRA *et al.*, 2011) e foi desconsiderada. A PH verde é dada pela seguinte equação:

$$PH_{\text{verde}} = EVT \quad (3)$$

Onde: PH verde = Pegada hídrica verde (m^3/s), EVT = Evapotranspiração real das culturas (m^3/s).

O consumo de água azul pelos cultivos de sequeiro foi desconsiderado no presente estudo, uma vez que neles predomina o consumo de água verde (ZENG, 2012). No caso das áreas de vegetação natural na bacia, a PH verde foi tomada como igual a zero, uma vez que na metodologia tradicional da PH isto é pressuposto por definição (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

Já no caso das culturas irrigadas, como elas ocorrem principalmente nos meses de estiagem, foi suposto que não havia consumo de água da chuva, mas apenas uso de água derivada do Ribeirão Pipiripau, contabilizada na PH azul.

Na presente análise, a EVT mensal das culturas foi calculada por meio de balanço hídrico do solo, seguindo a metodologia de Brooks (2003) ,Tabela A1 em apêndice, usando dados de solos, clima, e dados de culturas locais da bacia do Ribeirão Pipiripau com seus coeficientes de cultura respectivos, obtidos da FAO 56 (ALLEN *et al.*, 1998).

No caso da precipitação (P), foram obtidos dados de P mensal do Posto Pluviométrico Taquara (Código ANA No. 1547013), relativos à média mensal dos anos 2012 a 2014, a partir do Portal Hidroweb (ANA). No caso da evapotranspiração

potencial mensal, foram obtidos dados de EVT da Estação Brasília do INMET para o mesmo período.

Assim, os termos do balanço hídrico do solo (BROOKS *et al.*, 2003) de um certo mês foram os seguintes:

$$UI_i = CRA * H \quad (4)$$

Onde: UI_i (mm) = umidade inicial do solo no início do mês i ; CRA ($mm\ m^{-1}$) = capacidade de retenção de água no solo; H (m) = profundidade radicular da lavoura.

A umidade total disponível no solo no mês i foi dada por:

$$UD_i = P + UI_i \quad (5)$$

Onde: UD_i (mm) = umidade total disponível no solo; P (mm) = precipitação mensal; e UI_i (mm) = umidade inicial do solo no início do mês i .

A evapotranspiração real da cultura, por sua vez, foi calculada por:

$$EVT_i = \min (ET0_i; UD_i) * K_c \quad (6)$$

Onde: EVT_i (mm) = evapotranspiração real da cultura; $ET0_i$ = evapotranspiração potencial do mês i ; UD_i (mm) = umidade total disponível no solo; K_c = coeficiente da cultura.

A umidade remanescente potencial do solo no mês i foi calculada por:

$$UR_i = UD_i - EVT_i \quad (7)$$

Onde: UR_i (mm) = umidade remanescente potencial do solo; UD_i (mm) = umidade total disponível no solo; EVT_i (mm) = evapotranspiração real da cultura.

A umidade final do mês i , por sua vez, que depende da capacidade de retenção de água no solo, foi calculada por:

$$UF_i = \min (UR_i; UI_i) \quad (8)$$

Onde: UF_i (mm) = umidade final do solo; UR_i (mm) = umidade remanescente potencial do solo; UI_i (mm) = umidade inicial do solo. A umidade inicial do mês subsequente foi tomada como a umidade final do mês anterior (BROOKS *et al.*, 2003).

5.2.3 Pegada hídrica verde alternativa

A metodologia alternativa, proposta neste estudo, assume que os cultivos e pastagens atuais da bacia substituíram áreas de vegetação natural de cerrado, onde também havia evapotranspiração. Dessa forma, o volume de água verde evapotranspirado pela vegetação nativa foi considerado, ao contrário do que preconiza a metodologia tradicional de PH verde (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

Nesse sentido, a teoria alternativa comparou a PH_{verde} das áreas antrópicas da bacia com o consumo de água verde (dada pela evapotranspiração, EVT) das formações naturais nativas, em área equivalente. Assim, quando a EVT da vegetação nativa foi superior à EVT dos cultivos e pastagens, a PH verde será desconsiderada, visto que não ocorre um consumo líquido de água verde promovido pelos cultivos e pastagens, ou seja:

$$\begin{aligned} PH_{verde} &= 0 && \leftrightarrow && EVR_{vn} > EVR_{cp} \\ PH_{verde} &= EVR_{cp} && \leftrightarrow && EVT_{vn} \leq EVT_{cp} \end{aligned} \quad (9)$$

Onde: EVR_{vn} = Evapotranspiração da vegetação nativa (m^3/s), EVT_{cp} = Evapotranspiração de culturas e pastagem (m^3/s).

Esta suposição está alinhada com a filosofia de apropriação de água da chuva pelas culturas da metodologia tradicional (HOEKSTRA *et al.*, 2011), mas reconhece que a vegetação natural também tem um consumo de água, que pode ser maior ou menor do que os cultivos e pastagens que a substituem (BROOKS *et al.*, 2003).

5.2.4 Pegada hídrica cinza

A pegada hídrica cinza é um indicador da severidade da poluição dos cursos d'água, expressando o volume de água necessário para assimilar a carga de poluentes que a eles chega (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

No presente estudo, a PH_{Cinza} foi calculada pela razão entre a carga poluente (L) e a diferença entre a concentração do padrão ambiental de qualidade da água para um determinado poluente (concentração máxima aceitável, c_{max}) e sua concentração natural no corpo d'água receptor (c_{nat}), ou seja:

$$PH_{cinza} = L / (C_{max} - C_{nat}) \quad (10)$$

Onde: PH_{cinza} (vol/tempo) = pegada hídrica cinza; L = Carga de poluição atual (massa/tempo), C_{max} = Concentração máxima aceitável do poluente na legislação (massa/vol), C_{nat} = Concentração do poluente em condições naturais (massa/vol).

A concentração natural em um corpo d'água equivale à concentração que ocorreria caso não existissem intervenções humanas na bacia hidrográfica. Para substâncias de origem humana que naturalmente não ocorrem na água, $C_{nat} = 0$ (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

5.3 Índice de Sustentabilidade da pegada hídrica na bacia hidrográfica

Uma vez calculada a PH na bacia, foi calculado o *Índice de sustentabilidade da pegada hídrica sobre o sistema hídrico da bacia* (IPH). Este índice se assemelha ao conceito de *razão de uso da água*, utilizado no Plano Nacional de Recursos Hídricos - PNRH que relaciona a quantidade de água disponível à quantidade de água extraída do corpo hídrico (BRASIL, 2006). Todavia, deve ser lembrado que a água verde pode ser usada apenas pela vegetação, e o homem não pode consumi-la de outras formas senão por cultivos e pastagens. Por conta disso, o IPH é separado em dois compartimentos distintos: a disponibilidade de água azul dada, de forma simplificada, pela vazão média anual do rio e a disponibilidade de água verde, sendo que esta disponibilidade representa 63% do volume precipitado (RICHTER e PEARSON, 2012). De forma que a média aritmética desses dois compartimentos fornece o *IPH da bacia*.

Portanto, IPH da Bacia é calculado pelas seguintes equações:

$$IPH_{bacia} = (IPH_{ac} * Q_{med} + IPH_{verde} * Disp_{verde}) / (Q_{med} + Disp_{verde}) \quad (11)$$

Onde: IPH_{bacia} (%) = Índice de sustentabilidade da pegada hídrica total da bacia, IPH_{ac} (%) = Índice de sustentabilidade da pegada hídrica azul e cinza; Q_{med} (m^3/s) = vazão média anual, IPH_{verde} (%) = Índice de sustentabilidade da pegada hídrica verde e $Disp_{verde}$ (m^3/s) = disponibilidade de água verde.

O índice de sustentabilidade da pegada hídrica azul e cinza é dado por:

$$IPH_{ac} = (PH_{azul} + PH_{cinza}) / Q_{med} \quad (12)$$

Onde: IPH_{ac} (%)= Índice de sustentabilidade da pegada hídrica azul e cinza; PH_{azul} (m^3/s) = pegada hídrica azul, PH_{cinza} (m^3/s) = pegada hídrica cinza Q_{med} (m^3/s) = vazão média anual,

E o índice de sustentabilidade da pegada hídrica verde é dado por:

$$IPH_{verde} = PH_{verde} / Disp_{verde} \quad (13)$$

Onde: IPH_v (%)= Índice de sustentabilidade da pegada hídrica azul e cinza; PH_{verde} (m^3/s) = pegada hídrica verde e $Disp_{verde}$ (m^3/s) = disponibilidade de água verde.

Dessa forma quando o IPH é maior do que 100%, a bacia apresenta uma baixa sustentabilidade. Quando este valor for entre 50% e 100% significa que a bacia tem uma sustentabilidade moderada. Ao passo que, quando o valor do IPH for inferior a 50% a bacia apresenta alta sustentabilidade.

5.4 CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA NA BACIA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU

A Pegada Hídrica Azul foi calculada com base na equação (2) e nos dados obtidos de vazões derivadas na bacia, referentes ao ano de 2009, levantadas pela ANA (2009) (Figura 5). As demandas expressivas de água azul na bacia foram o abastecimento humano (CAESB), a irrigação (Canal de Irrigação Santos Dumont), e a dessedentação animal.

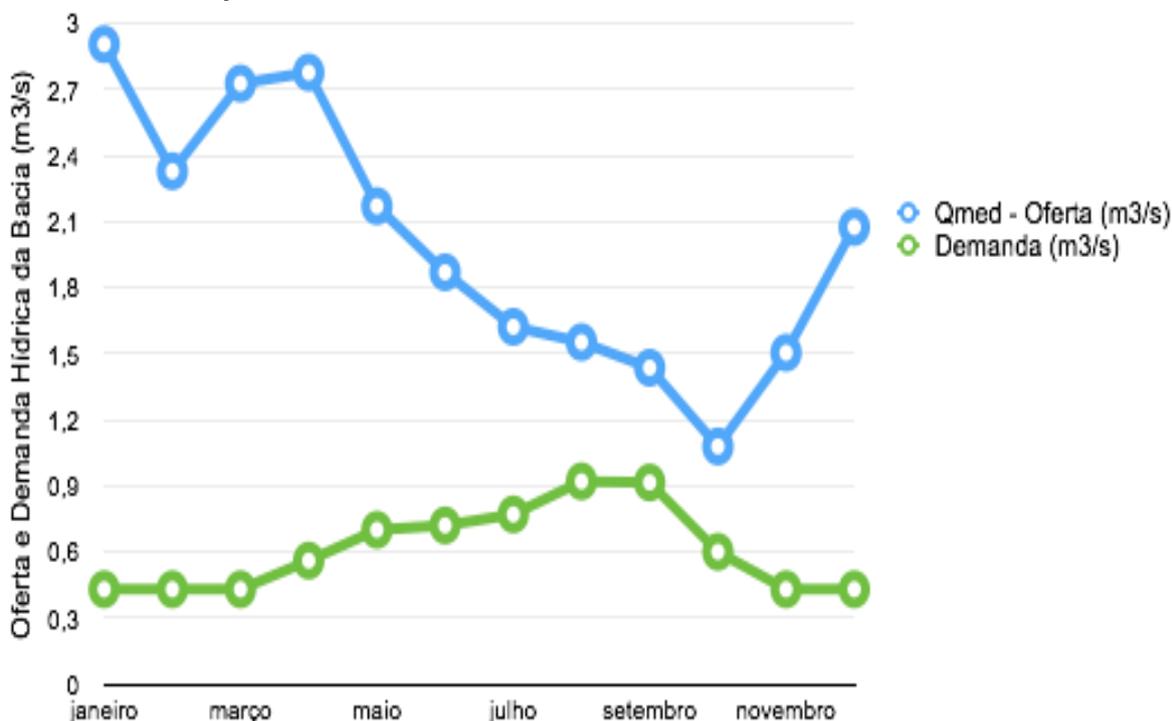


Figura 5. Oferta e demanda de água na bacia do Ribeirão Pípiripau. Fonte: adaptado de ANA (2009).

Como as vazões captadas, inclusive esgotos, não retornam à bacia, mas são destinadas a outras bacias, a vazão de retorno da equação (2) foi considerada igual a zero. Assim, a PH_{azul} da bacia foi considerada como sendo a média aritmética das vazões derivadas mensais.

Para a estimativa da *Pegada Hídrica Verde*, foram considerados todos os principais cultivos de sequeiro da Bacia e sua extensão em hectares. Os dados das áreas dos cultivos na bacia foram fornecidos pela EMATER/DF (comunicação pessoal), incluindo Núcleo Rural Taquara, Pípiripau e Planaltina, tendo como base os Informativos de Produção Agrícola (IPA) do ano de 2014.

Para a estimativa da EVT das plantas, foi utilizado o modelo de balanço hídrico de Brooks *et al.* (2003). Para tanto, foram usados dados de profundidade radicular e coeficiente (K_c) e ciclo dos principais cultivos da bacia (Allen *et al.*, 1998) (Tabela 1). Também foi utilizada a precipitação mensal média do período 2012 a 2014. Esta foi obtida do Posto Taquara (Cód. 01547013), localizado na região central da bacia.

Tabela 1 - Dados usados no cálculo de EVT de cada cultura de sequeiro da bacia do Ribeirão Pípiripau

Cultivo	Total (ha)	(Zr) m	Ciclo (meses)	Kc	EVT (m ³)	Fonte
Abacate	12,75	0,50	12	0,73	0,003	FAO 56; Allen <i>et al.</i> (1998)
Pastagem	5051,04	0,50	12	0,70	1,034	FAO 56; Allen <i>et al.</i> (1998)
Eucalipto	389,6	2,42	12	0,76	0,110	Alves (2009)/ Lima <i>et al.</i> (2006)
Limão	11,85	1,00	12	0,63	0,002	FAO 56; Allen <i>et al.</i> (1998)
Mandioca	14,64	0,50	9,5	0,55	0,002	FAO 56; Allen <i>et al.</i> (1998)
Milho	3180,38	1,00	4,94	0,66	0,392	FAO 56; Allen <i>et al.</i> (1998)
Soja	3329,5	0,60	4,17	0,68	0,370	FAO 56; Allen <i>et al.</i> (1998)
Milheto	200	1,00	4,08	0,53	0,019	FAO 56; Allen <i>et al.</i> (1998)
Sorgo	92,5	1,00	4,5	0,78	0,013	FAO 56; Allen <i>et al.</i> (1998)
Feijão	938,7	0,50	3,39	0,63	0,081	FAO 56; Allen <i>et al.</i> (1998)
TOTAL	13.220,96				2,027	
Cerrado	13.220,96	2,42	12	1	4,528	Lima <i>et al.</i> (2001) / Rodin (2004)

Em solos do cerrado composto por 35% a 42% de fração de argila, como é o caso dos Latossolos da bacia (CALIXTO, 2013), o valor de água disponível é de 11,8 mm/10 cm (LOPES, 1983). Este valor foi tomado para a CRA dos solos da bacia.

Assim, para cada cultura, foi programada uma planilha em MS-Excel, alimentada com os dados climáticos, pedológicos e das culturas, obtendo-se os valores mensais e anuais de EVT, obedecendo-se os respectivos coeficientes e ciclos culturais.

A mesma planilha foi programada para o cálculo de consumo de água pelo cerrado, com as devidas alterações de profundidade radicular e coeficiente de cultura, supondo que sua área era equivalente àquela ocupada pelos cultivos e pastagens (13.220,96 ha). O valor da PH_{verde} da bacia foi então obtido de acordo com a equação (3).

Para o cálculo do IPH foi necessário o valor de disponibilidade de água verde. Afim de obtê-lo, a precipitação média anual de 1.144 mm foi multiplicado pela área da bacia e manipulado algebricamente até obter-se o valor de 8,53 m³/s. Portanto a disponibilidade de água verde foi de 5,12 m³/s (63% da precipitação total). E o IPH foi dado conforme as equações 11, 12 e 13 e a soma da vazão média anual (2 m³/s) com a disponibilidade de água verde (7,12 m³/s)

Para o cálculo da PH_{cinza} , quatro parâmetros de qualidade de água foram analisados, em função de sua relevância ambiental para a bacia: DBO, Nitrato (NO₃), Fósforo Total (P) e Sólidos Totais Suspensos (SST).

Uma vez calculada a PH_{cinza} de cada um deles no período de análise, a PH_{cinza} da bacia foi tida como sendo a maior pegada hídrica entre os quatro parâmetros, seguindo-se o princípio da precaução e também considerando que o volume de água necessário para diluir o poluente mais concentrado também irá diluir os menos concentrados (HOESKSRA *et al.*, 2011).

Para a estimativa da carga poluente de cada parâmetro (L, na equação 10), foram usados dados de qualidade da água entre os anos de 2012 a 2014, obtidos próximo ao exutório da bacia, ponto este que acumula todos os processos de poluição pontual e difusa a montante.

Já para os valores de C_{nat} , foram utilizados dados de qualidade de água do posto fluviométrico do Ribeirão Fumal (-15:35:38 S; -47:40:11 W), no mesmo período. Trata-se de uma bacia prístina vizinha à do Ribeirão Pipiripau, inteiramente protegida por uma reserva ecológica, mas com características fisiográficas e hidrológicas semelhantes.

Na estimativa da concentração máxima (C_{max} , da equação 10), foram utilizados os Valores Máximos Toleráveis para a Classe II da Res. CONAMA N^o.357/2005, classe na qual está enquadrado o Ribeirão Pípiripau.

Como não existiam limites de concentração de SST na Resolução CONAMA N^o. 357/05, foi obtida uma correlação estatística entre o SST e a turbidez (PICOLLO *et al.* 1999), usando os dados de qualidade da água da bacia. Esta relação foi a seguinte:

$$TUR = 2,13 SST^{0,62} \quad (R^2= 0,91) \quad (11)$$

Onde: TUR (NTU) = turbidez da água; SST (mg/L) = concentração de sólidos suspensos totais na água.

A Tabela 2 apresenta os parâmetros de qualidade de água avaliados e usados na estimativa da PH cinza.

Tabela 2 - Parâmetros de qualidade da água e suas concentrações usados no cálculo da PH_{cinza}

Parâmetro	Concentração Atual	Concentração Máxima	Concentração Natural
DBO (mg/L)	1,63	5,00	0,81
P (mg/L)	0,03	0,10	0,02
N_NO3 (mg/L)	0,07	10,00	0,13
Turbidez (NTU)	17,11	100,00	4,07
SST (mg/L)	28,08	475,43	2,81

Para a estimativa da carga poluente de cada um dos parâmetros de qualidade da água da Tabela 2 (equação 10), foi necessária a estimativa da vazão média do Ribeirão Pípiripau no período entre 2012 e 2014. Isto foi feito a partir dos dados de vazão diária do posto FRINOCAP (-15:39:26; -47:37:30), resultando num valor de vazão médio anual de 1,39 m³/s. Considerando que as derivações de água da bacia estão situadas a montante do posto fluviométrico analisado, foi necessário adicionar os valores das vazões derivadas médias (0,61 m³/s) ao valor de vazão observado (1,39 m³/s), de forma a se recompor a vazão natural do rio, resultando num valor de vazão de 2 m³/s.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A PH_{azul} na bacia, no período estudado (2012-2014), foi de 0,61 m³/s, resultante dos usos consuntivos de abastecimento de água e de irrigação. Este valor

representa 30,5% da vazão média anual do ribeirão Pípiripau no mesmo período (2,0 m³/s).

A Figura 6 apresenta o valor da Pegada Hídrica Cinza dos quatro parâmetros de qualidade de água analisados na bacia.

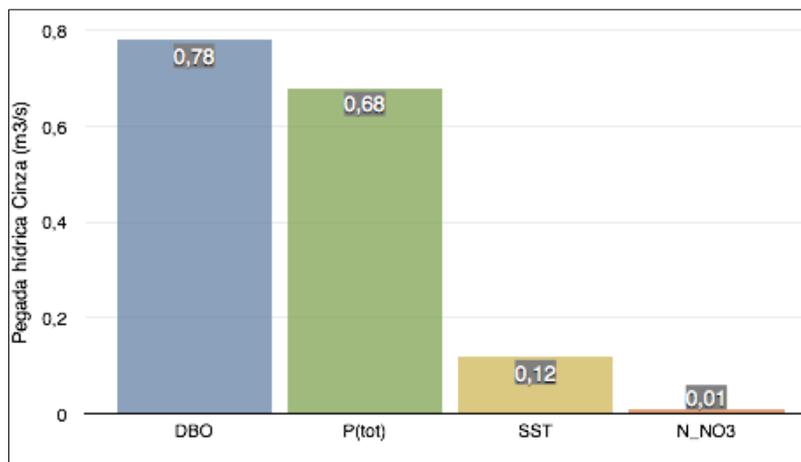


Figura 6. Pegada hídrica cinza dos parâmetros de qualidade analisados

Tomando-se o Princípio da Precaução, a PH_{cinza} da bacia correspondeu ao valor de 0,78 m³/s (DBO). O índice de sustentabilidade da pegada hídrica azul e cinza (IPH_{ac}) foi de 69,5% para a vazão média anual do período analisado, representando pegadas azul e cinza de sustentabilidade moderada.

A Figura 7 apresenta os valores das Pegadas Hídricas Verdes de dos cultivos de sequeiro da bacia.

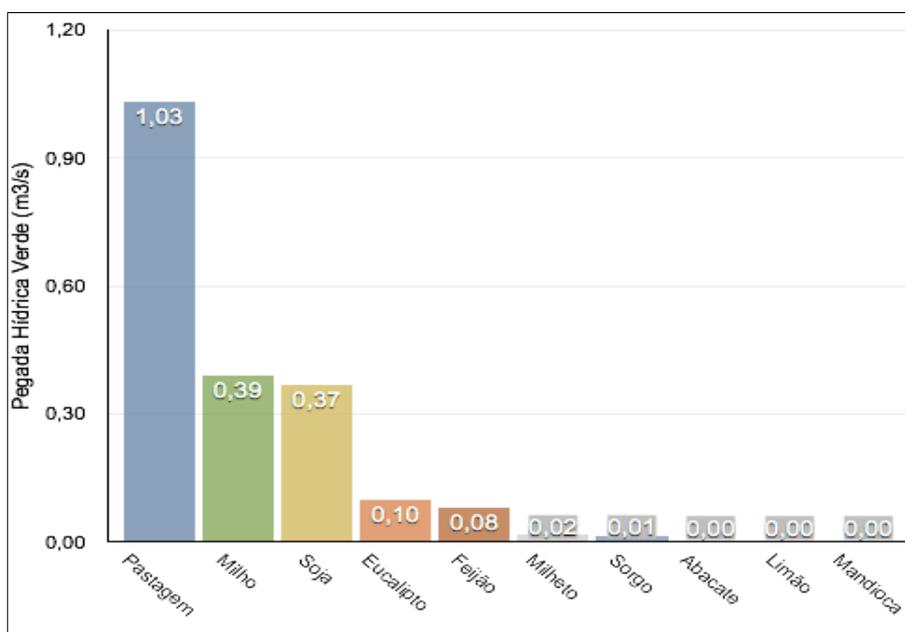


Figura 7. Valores de PH verde das principais culturas da bacia

A soma dos valores EVT das culturas da Figura 6 foi de 2,02 m³/s, que foi a PH verde da bacia. Como a disponibilidade de água verde foi de 5,12 m³/s, tem-se que o índice de sustentabilidade da pegada hídrica verde foi de 39,45% indicando que a sustentabilidade sobre a água verde na bacia do Ribeirão Pipiripau é alta e de baixo impacto. Isso permite inferir que ainda existe água verde disponível para uso humano por meio de cultivos de sequeiro e pastagens. Inclusive, estes tem se apresentado como as principais atividades econômicas da bacia e ainda podem ser implementadas, visto que é possível perceber que elas não têm sido fonte de conflitos sobre os recursos hídricos da bacia.

De forma oposta o IPH_{ac} (69,5%) apresentou-se como sendo de sustentabilidade moderada, refletindo que as fontes de consumo de água verde e cinza é que comprometem a qualidade e quantidade dos recursos hídricos da bacia. Portanto, a gestão deve ser realizada com foco nesses processos: irrigação, abastecimento e poluentes gerados por suínos e aves.

A PH_{total}, calculada pela metodologia tradicional, sem levar em conta a EVT da vegetação natural, foi de 3,41 m³/s. Isto resulta em um índice de sustentabilidade da bacia (IPH_{bacia}) de 47,89%, ou seja, observando a bacia como um todo sua sustentabilidade está alta. Observa-se também que a disponibilidade de água verde foi responsável por reduzir a severidade do impacto, em relação ao impacto considerando apenas os componentes azul e cinza.

Entretanto, ao se considerar a EVT da vegetação natural, que deu lugar aos cultivos da bacia, observou-se um consumo de água verde de 4,53 m³/s, portanto superior ao valor de PH_{verde} dos cultivos (2,02 m³/s). Assim, pela metodologia alternativa, o valor da PH_{verde} foi anulada, visto que não ocorre consumo líquido de água verde pelos cultivos e pastagens. Sendo assim, o IPH_{bacia} foi 65,9%, visto que o componente da pegada hídrica verde foi desconsiderado. Dessa forma, fica evidente, mais uma vez, que as principais fontes de impacto na bacia do Ribeirão Pipiripau são aquelas que consomem água azul e cinza, apresentando sustentabilidade moderada. A Tabela 3 apresenta os valores e percentuais da PH da bacia do Ribeirão Pipiripau, nas metodologias tradicional e alternativa.

Tabela 3 - Valores (m³/s) e percentual (%) dos componentes da pegada hídrica da bacia do Ribeirão Pipiripau, no período entre 2012/2014, obtidos pela teoria tradicional e alternativa.

Componente	Parâmetro	Qi (m ³ /s)	Qt (m ³ /s)	% (Met. tradicional)	% (Met. alternativa)
PH _{Azul}	Demanda média	0,61	0,61	18	44
	Abacate	0,003			
PH _{Verde}	Pastagem	1,034			
	Eucalipto	0,110			
	Limão	0,002			
	Mandioca	0,002			
	Milho	0,392	2,02	60	0
	Soja	0,370			
	Milheto	0,019			
	Sorgo	0,013			
PH _{Cinza}	Feijão	0,081			
	DBO	0,780			
	P(total)	0,680	0,78	22	56
	SST	0,120			
	N_NO3	0,010			
PH _{Total} (Metodologia tradicional)			3,41		
PH _{Total} (Metodologia alternativa)			1,39		

De acordo com a Tabela 4, na metodologia tradicional a PH_{verde} foi a mais representativa na bacia, representando 60% da PH_{total}, seguida da PH_{cinza} (22%). No entanto, mesmo a PH_{verde} sendo a mais representativa, observou-se também que ela é a de maior sustentabilidade, visto que a disponibilidade de água verde está comprometida em apenas 39,45% (IPH_{verde}). Já na metodologia alternativa, como a PH_{verde} foi anulada, os componentes mais significativos da PH foram a PH_{cinza} (56%) e PH_{azul} (44%) e tem se apresentado menos sustentáveis, visto que a disponibilidade de água azul (que também é utilizado para os efluentes) tem sido comprometida em 69,50% (IPH_{ac}).

Aldaya e Llamas (2008) e Zeng (2012) também haviam concluído que a PH_{verde} tinha apresentado o maior percentual da PH_{total} em suas respectivas bacias. Todavia, deve ser enfatizado que nesses estudos não foi considerada a PH cinza nem analisados separadamente a disponibilidade de água verde e azul.

Na Tabela 4, fica evidente a importância da comparação do consumo de água da vegetação natural e das culturas que a substituíram, o que pode representar uma

limitação do método. Isto foi reconhecido por Zhou *et al.* (2014) e Freitas & Chaves (2014).

Considerando os resultados da Tabela 4 e buscando reduzir a PH hídrica na bacia, medidas deveriam ser tomadas no sentido de diminuir os valores dos componentes azul e cinza da PH. Medidas estas como: práticas mais eficientes de irrigação, reduzir perdas de distribuição de água tratada na cidade de Planaltina, monitorar e controlar fontes de poluição difusa, principalmente aquelas de pocilgas e currais.

7 CONCLUSÃO

- A nova abordagem metodológica com foco nos processos hidrológicos da bacia apresentou-se eficiente para calcular pegada hídrica total da bacia hidrográfica considerando seus três componentes.
- A PH_{azul} da Bacia do Ribeirão Pípiripau no período entre 2012 a 2014 foi de $0,61 \text{ m}^3/\text{s}$; a PH_{verde} foi de $2,02 \text{ m}^3/\text{s}$, e a PH_{cinza} de $0,78 \text{ m}^3/\text{s}$.
- A PH_{total} da Bacia do Ribeirão Pípiripau, usando a metodologia tradicional, foi de $3,42 \text{ m}^3/\text{s}$, com a PH_{azul} representando 18%, a PH_{verde} 60% e a PH_{cinza} 22% da PH total. Mesmo a PH_{verde} sendo a mais representativa, esta apresentou maior sustentabilidade, visto que a disponibilidade de água verde consumida foi apenas de 39,5%. Dessa forma, é ambientalmente viável o aumento de áreas produtivas de sequeiros. A bacia também apresentou sustentabilidade alta, de forma que 47,89% dos recursos hídricos disponíveis estão sendo utilizados.
- Quando a evapotranspiração da vegetação natural anterior aos cultivos foi considerada observou-se que não há consumo líquido de água verde promovido pelos cultivos e pastagens. Portanto a PH_{total} foi de $1,39 \text{ m}^3/\text{s}$, sendo que a PH_{azul} representou 44% da PH_{total} e a PH_{cinza} 56%. A sustentabilidade da bacia foi de 69,5%, considerado moderada, de forma que é possível concluir que essas fontes é que são responsáveis por consumir maior parte dos recursos hídricos disponíveis, e não aquelas que consomem água verde.
- Medidas mitigadoras podem ser tomadas a fim de reduzir as pegadas azul e cinza, tais como: redução das fontes de poluição difusa (saneamento rural) e melhoria da eficiência de sistemas de irrigação.

REFERENCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Hidroweb**/ANA Disponível em: www.ana.gov.br. 2005. Acessado em: 10/03/2015.

ALDAYA, M. M. and LLAMAS, M. R. **Water footprint analysis for the Guadiana river basin**, Value of Water research Report Series No 35, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, 2008.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. FAO. **Irrigation and Drainage Paper Nº 56. Crop Evapotranspiration** (guidelines for computation cropwater requirements) Rome: FAO. 1998.

ALVES, M.E.B. **Disponibilidade e demanda hídrica na produtividade da cultura do eucalipto**. 2009. 136 f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

ARAÚJO, L. E.; SOUZA, F. A. S.; NETO, J. M. M; SOUTO, J. S.; REINALDO, L. R. L. R. Bacias hidrográficas e impactos ambientais. **Qualit@s**, Paraíba, v. 8,n.1, p. 1 - 18, 2009.

AZEVEDO, H. A. M. de A. e BARBOSA, R.P. Gestão de Recursos Hídricos no Distrito Federal: uma análise da gestão dos Comitês de Bacias Hidrográficas. **Ateliê Geográfico**. Goiânia, v.5 n. 1. p.162-182. ISSN: 1982- 1956. Mar. 2011.

BRASIL. Agência Nacional de Águas, ANA; The Nature Conservancy, TNC; Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal, EMATER; Secretaria de Agricultura Pecuária e Abastecimento, SEAPA. **Programa Produtor de Água:Relatório de diagnóstico socioambiental da bacia do ribeirão Pípiripau**. 2010. 59p.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos: Informe 2014**. Encarte Especial sobre a Crise Hídrica. Brasília, 2015. 107p.

BRASIL. Banco do Brasil; WWF-Brasil; Agência Nacional de Águas, ANA. **Pegada Hídrica das Bacias Hidrográficas**. Brasília, 2014.72p

BRASIL. **Lei No 12.651/2012**, de 25 de Maio de 2012. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm Acessado em 09/10/2014.

BRASIL. **Lei No 9.433/1997**, de 8 de Janeiro de 1997. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm Acessado em 09/10/2014.

BRASIL. **Plano Nacional de Recursos Hídricos: síntese executiva – PNRH**. Brasília. Ministério do Meio Ambiente e Secretaria de Recursos Hídricos, 2006. Disponível em: <http://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/images/abook/pdf/Plano%20nacional%20de%20recursos%20hdcricos.%20DirEVTizes.%20Volume%203%202.pdf> . Acessado em: 07/04/201

BRASIL. **Resolução CONAMA 357/2005**, de 17 de Março de 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459> Acessado em 29 mar. 2015.

RICHTER B. e PEARSON, J. (Org.). **Visualizing Water**. 2012. TRUTHstudio's e TNC. Disponível em: <http://www.truthstudio.com/viz_2012_visualizing_water.html>. Acesso em: 13 jun. 2015.

BROOKS, K. N., FFOLIOTT, P. F., GREGERSEN, H.M., DEBANO, L.F. **Hydrology and the management of watersheds**. 3 ed. Iowa State: Blackwell. 2003, 574 p.

CAESB. Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. **Plano de Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pípiripau**. Brasília, 2001. 206p.

CALIXTO, B.B. **Estimativa indireta da erodibilidade (K) dos solos da Bacia do Ribeirão Pípiripau-DF usando dados pedológicos locais**. Monografia. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília DF. 60p. 2013.

CARMO, J. P. A. e SILVA, P. D. D. **A Bacia hidrográfica como unidade de estudo, planejamento e gestão**. In: XVI Encontro Nacional dos Geógrafos, 2010, Porto Alegre. XVI ENG, 2010.

CARRAMASCHI, E.C.. **Análise do Comportamento da Demanda por Água para Irrigação na Região do Córrego da Rocinha no Distrito Federal**. Dissertação de Mestrado, Publicação MTARH.DM-020A/2000, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 98p. 2000.

CHAPAGAIN, A., TICKNER, D. Water Footprint: Help or Hindrance? **Water Alternatives**, v.5, n.3, p. 563-581. 2012.

CHAVES, H.M.L. Relatório de Avaliação econômica e socioambiental do retorno do investimento da implantação do projeto produtor de água na bacia do ribeirão Pípiripau (DF/GO), 2012. Trabalho não publicado.

CHAVES, H.M.L.; PIAU, L.P. Efeito da variabilidade da precipitação pluvial e do uso e manejo do solo sobre o escoamento superficial e o aporte de sedimento de uma bacia hidrográfica do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32(2): 333-343, 2008.

EMPINOTTI, V.L., TADEU, N.D., MARTINS, R.S.L. Análise crítica da Pegada Hídrica cinza na produção de celulose. **Ambiente e Água**, v. 8, n. 3, p. 166-177. 2013.

FENG, K.; SIU, Y. L.; GUAN, D.; HUBACEK, K. Assessing regional virtual water flows and water footprints in the Yellow River Basin, China: A consumption based approach. **Applied Geography**.V.32, I. 2, Pages 691–701. March 2012.

FERNANDES, M.R. e SILVA, J. C. **Programa Estadual de Manejo de Sub-Bacias Hidrográficas: Fundamentos e estratégias** - Belo Horizonte: EMATERMG. 24p. 1994.

FREITAS, S.C.; CHAVES, H.M.L. Estimativa da pegada hídrica cinza relativa ao fósforo na bacia hidrográfica do ribeirão Pípiripau (DF/GO). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.19, n. 3, p.141-149, 2014.

HGeo TECNOLOGIA EM GEOFÍSICA E GEOLOGIA. Universidade de Brasília. **Relatório**. Brasília, 2001.

HOEKSTRA, A.Y.; CHAPAGAIN, A.K.; ALDAYA, M.M. e MEKONNEN, M.M. **Manual de avaliação da pegada hídrica: Estabelecendo o padrão global.** . São Paulo: Earthscan, 2011.

LEÃO, R. de S. Pegada hídrica: visões e reflexões sobre sua aplicação. **Ambient.soc.** [online], vol.16, n.4, p. 159-162. ISSN 1809-4422. 2013.

LIMA, J. E. F. W.. Situação e perspectivas sobre as águas do cerrado. **Cienc. Cult.**, São Paulo, v. 63, n. 3, Julho 2011.

LIMA, J.E.F.W.; SILVA, C.L.da; OLIVEIRA, C.A. da S. Comparação da evapotranspiração real simulada e observada em uma bacia hidrográfica em condições naturais de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.5, n.1, p.33-41, jan./abr. 2001.

LIMA, J.S.S.; OLIVEIRA, R.B.; SILVA, J.M. ; QUARTEZANI, W.Z.; SILVA, S.A.(200). Desenvolvimento de espécies de *Eucalyptus Grandis* e *Eucalyptus Urograndis* em solo com presença de camadas compactada . **Engenharia na Agricultura**, Viçosa-MG, Abr/Jun, 2006, pp. 100-106

LOPES, A.S. Solos sob “cerrado”: características, propriedades e manejo. Piracicaba, **Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato**, 1983. 162 p.

ONU/FAO - World Water Day.; **Coping with water scarcity. Challenge of the twenty-first century.** Rome, 2007.

ONU/FAO - World Water Week.; **Coping with water scarcity an action framework for agriculture and food security.** ONU/FAO - World Water Week, 2012. Disponível em formato PDF no site www.unwater.org/documents.html Tradução adaptada por EcoDebate – Revista Cidadania & Meio Ambiente, nº 41 – ano viii – 2012.

PICCOLO, M. A. M.; PINTO, C. A.; TEIXEIRA, E. C. .Correlação entre sólidos em suspensão, cor e turbidez para água captada no rio Jucu - ES. In: **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**; AIDIS. Desafios para o saneamento ambiental no terceiro milênio. Rio de Janeiro, ABES, p.1-10, 1999.

PORTO, M. F. A. e PORTO, R.L.L., Gestão de bacias hidrográficas. Estudos Avançados, São Paulo, v.22, n.63, p. 43-60, 2008

POSTEL, S. **Entering an era of water scarcity: the challenges ahead.** **Ecologica Applications**, v.10, p.941- 948, 2000.

RODIN, P. **Distribuição da biomassa subterrânea e dinâmica de raízes finas em ecossistemas nativos e em pastagem plantada no cerrado do Brasil central.** Dissertação de Mestrado em Ecologia. Universidade de Brasília, Brasília -DF. 2004

SILVA, C.R. da; CHAVES, H. M. L.; CAMELO, A. P. Calibração e validação da equação universal de perda de solos modificada (MUSLE) utilizando dados hidrossedimentológicos locais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa , v. 35, n. 4, Ago. 2011 .

SILVA, V. P. R. et al . Uma medida de sustentabilidade ambiental: pegada hídrica. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande , v. 17, n. 1, Jan. 2013 .

THE NATURE CONSERVANCY-TNC. **Mapa de Uso do Solo da Bacia do Ribeirão Pipiripau**. 2009. Formato digital.

VALENTE, O.F. e CASTRO, P. S. **Manejo de bacias hidrográficas**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 7, n. 80, p. 40-45, mar. 1981.

ZENG, Z.; LIU, J.; KOENEMAN, P. H.; ZARATE, E. e HOEKSTRA, A. Y. Assessing water footprint at river basin level: a case study for the Heihe River Basin in northwest China. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, 16, 2771–2781, 2012

ZHUO, L.; MEKONNEN, M. M. and HOEKSTRA, A. Y.: Sensitivity and uncertainty in crop water footprint accounting: a case study for the Yellow River Basin, **Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.**, 11, 135–167, doi:10.5194/hessd-11-135-2014, 2014.

APÊNDICE

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
1	Balanco Hídrico de Pastagem																
2	Variável (mm)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total	% P		
3	Precipit. (P)	173,6	91,91	197,77	61,57	11,27	10,77	0	0	27	88,6	222,46	259,6	1.145	100,0	(P)	
4	Umid. Inc. Solo	59,0	59,0	59,0	59,0	52,2	19,0	8,9	2,7	0,8	8,3	29,1	59,0				
5	Umid. Tot. Disp.	232,6	150,9	256,8	120,6	63,5	29,8	8,9	2,7	27,8	96,9	251,5	318,6				
6	ET0	121,3	110,1	96,5	97,7	95,0	129,7	137,7	134,2	138,4	146,5	128,9	138,5	1.475			
7	ETR	84,9	77,1	67,6	68,4	44,4	20,9	6,3	1,9	19,5	67,9	90,2	97,0	646	56,4	(ETR)	
8	Umid. Reman.	147,7	73,8	189,2	52,2	19,0	8,9	2,7	0,8	8,3	29,1	161,3	221,7				
9	Umid. Final	59,0	59,0	59,0	52,2	19,0	8,9	2,7	0,8	8,3	29,1	59,0	59,0	416		(DS)	
10	Percol. Prof. (Q)	88,7	14,8	130,2	-	-	-	-	-	-	-	102,3	162,7	499	43,6	(Q)	
11																	
12				U.I.S.	(U.I.S. Jan = CRA*Prof. Rad.)												(Esc. B)
13																	
14	Prof. Rad. (Z)=	0,5	m ->	59	mm												
15	Cap. Ret. Água=	118	mm/m														
16	KC da cultura=	0,7															
17	PASTAGEM																
18																	

Tabela A1 - Modelo de Balanço Hídrico de Brooks (2003).