

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

THAYANE ZANCHETTA HONORATO

**UTILIZAÇÃO DA CURVA DE RECESSÃO NA BACIA DO RIO
TAQUARA: UMA ANÁLISE METODOLÓGICA DE APLICAÇÃO NA
GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA
2013

THAYANE ZANCHETTA HONORATO

**UTILIZAÇÃO DA CURVA DE RECESSÃO NA BACIA DO RIO
TAQUARA: UMA ANÁLISE METODOLÓGICA DE APLICAÇÃO NA
GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**

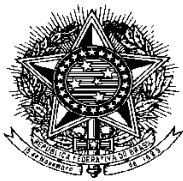
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos

Co-orientador: Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi

LONDRINA

2013



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

Utilização da curva de recessão na bacia do Rio Taquara: uma análise metodológica de aplicação na gestão dos recursos hídricos subterrâneos

por

Thayane Zanchetta Honorato

Monografia apresentada no dia 05 de setembro de 2013 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi
(UTFPR)

Prof. Dr. André Celligoi
(UEL)

Profa. Dr. Maurício Moreira dos Santos
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Joseane Débora Peruço Theodoro
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambier.

Observação: A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

Para os meus pais Sandra e Paulo, ao meu irmão
Gustavo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por minha vida e por me proporcionar tantas alegrias.

Faltam palavras para o tanto que eu gostaria de agradecer aos meus pais e irmão. Minha eterna gratidão por vocês serem essa família incomparável, compreensiva, alegre, carinhosa e que sempre me incentivou a correr atrás dos meus sonhos. Meu orgulho por vocês é imenso.

Ao meu avô Moacyr, minha Tia Valdete e meus primos, pelo papel fundamental que tiveram em minha vida acadêmica, fornecendo ajuda e apoio aos meus estudos, e por sempre acreditarem em mim.

Um especial agradecimento ao meu orientador Dr. Maurício Moreira dos Santos, por ter compartilhado seu grande conhecimento na área constantemente, com ideias e sugestões pertinentes ao trabalho realizado. Por sua amizade, dedicação, paciência e auxílio em todos os momentos do desenvolvimento deste trabalho. Minha sincera admiração por sua pessoa e competência profissional.

Ao meu co-orientador Dr. Ricardo Nagamine Costanzi, pelo auxílio em parte da metodologia desse trabalho, por todas as sugestões para seu desenvolvimento e por ter me dado a oportunidade de desenvolver um artigo para publicação.

Aos meus amigos, por estarem sempre presentes nos momentos de alegrias e tristezas, durante uma fase tão importante da minha vida, como essa.

A todo corpo docente que tive aula, por serem todos tão prestativos, me trazerem um novo conceito de aprendizagem e contribuírem amplamente para meu futuro profissional.

Ao Professor Dr. Admir Créso de Lima Targino, pelo apoio à atual pesquisa.

Ao IAPAR e ao INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ, por todos os dados fornecidos para que esse trabalho tornasse possível.

“A água é o princípio de todas as coisas.”
(MILETO, Tales)

RESUMO

HONORATO, Thayane Zanchetta. Utilização da curva de recessão na bacia do Rio Taquara: uma análise metodológica de aplicação na gestão dos recursos hídricos subterrâneos. 2013. 67p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

A água subterrânea presente nos aquíferos dispensa muitas vezes o tratamento convencional, se tornando assim uma fonte indispensável de abastecimento para consumo humano. Essas águas vêm sendo constantemente exploradas de forma negligente, o que pode causar danos, até mesmo irreversíveis, às reservas subterrâneas. Assim, surge a importância de se avaliar a situação atual e obter um estudo quantitativo estimado da água presente nos aquíferos. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho é avaliar as potencialidades das reservas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na região de Londrina-PR, através da utilização do método de curva de recessão aplicado na Bacia Hidrográfica do Rio Taquara, verificando as influências das precipitações em sua recarga, a partir do balanço hídrico regional. Foram levantados e utilizados dados pluviométricos, de temperatura do ar e fluviométricos, referentes aos anos de 1988 a 2010 na região de estudo, sendo selecionados os anos de 1988, 1996, 2006 e 2009, para o cálculo do coeficiente de recessão, volume de água contribuinte para a bacia, restituição e balanço hídrico. Os resultados provam que a precipitação tem influência na vazão de um rio, no excedente hídrico e na recarga de um aquífero, e também que o excedente hídrico atua na reposição hídrica. Os déficits e retiradas hídricas estão sempre presentes no período de recessão.

Palavras chave: Aquífero. SASG. Balanço Hídrico. Curva de recessão.

ABSTRACT

HONORATO, Thayane Zanchetta. Use of the recession curve in the Taquara River: a methodological analysis of application in the management of underground water resources. 2013. 67p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

Groundwater present in aquifers dispenses conventional treatment, often becoming an indispensable source of supply for human consumption. These waters have been constantly exploited negligently, which can cause damage, even irreversible, to groundwater reserves. Thus, arises the importance of assessing the current situation and get an estimated quantitative study of water in aquifers. This way, the purpose of this study is to evaluate the potential of underground reserves of Serra Geral Aquifer System (SASG) in the region of Londrina-PR, through the use of the recession curve method applied in the Taquara River, checking the influence of the rainfall in its reload, from the regional water balance. Rainfall data, hydrological and air temperature have been raised and used, for the years 1988 to 2010 in the study region, being selected the year 1988, 1996, 2006 and 2009, for the calculation of the coefficient of recession, the volume of water to the bowl, taxpayer refund and water balance. The results show that the precipitation has influence on the flow of a river, water surplus and the recharge of an aquifer, and also that the surplus water acts on hydric reposition. Deficits and water withdrawals are always present in the recession period.

Keywords: Aquifer. SASG. Water Balance. Recession curve.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Taquara.....	14
Figura 2 - Mapa geológico da bacia do Rio Taquara.....	16
Figura 3 - Aquífero fissural: a) fraturas provocadas por movimento tectônico e b) juntas de resfriamento de rochas ígneas	20
Figura 4 - Estrutura do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos.	22
Figura 5 - Unidades Aquíferas do Paraná.	24
Figura 6 - Ciclo Hidrológico e seus principais componentes	25
Figura 7 - Mapa de localização da estação fluviométrica Sítio Igrejinha no Rio Taquara.	29
Figura 8 - Estação fluviométrica Sítio Igrejinha.	30
Figura 9 - Exemplo de Curva de Recessão.....	31
Figura 10 - Exemplo de gráfico de barras de precipitação média diária do ano de 2010.	33
Figura 11 - Exemplo de gráfico em escala logarítmica de vazão diária do ano de 2010.	33
Figura 12 - Fluxograma das atividades desenvolvidas na escolha dos anos mais secos utilizados para a curva de recessão.	34
Figura 13 - Planilha do software BHnorm v5.....	35
Figura 14 - Vazão diária do Rio Taquara em 1988, evidenciando o período de recessão.	40
Figura 15 - Vazão diária do Rio Taquara em 1996, evidenciando o período de recessão.	41
Figura 16 - Vazão diária do Rio Taquara em 2006, evidenciando o período de recessão.	41
Figura 17 - Vazão diária do Rio Taquara em 2009, evidenciando o período de recessão.	42
Figura 18 - Vazão e precipitação do ano de 1988.....	45
Figura 19 - Temperatura média do ar e precipitação mensal de 1988.....	46
Figura 20 - Temperatura média do ar e precipitação mensal de 1996.....	47
Figura 21 - Temperatura média do ar e precipitação mensal de 2006.....	47
Figura 22 - Temperatura média do ar e precipitação mensal de 2009.....	48
Figura 23 - Extrato do balanço hídrico mensal 1988.....	50
Figura 24 - Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica do ano de 1988.....	50
Figura 25 - Extrato do balanço hídrico mensal 1996.....	51
Figura 26 - Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica do ano de 1996.....	51
Figura 27 - Extrato do balanço hídrico mensal 2006.....	52
Figura 28 - Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica do ano de 2006.....	53
Figura 29 - Extrato do balanço hídrico mensal 2009.....	53

Figura 30 - Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica do ano de 2009.	54
Figura 31 - Capacidade de água disponível (CAD) e total de água retida no solo em cada período (ARM) mensal de 1988, 1996, 2006 e 2009.	54
Figura 32 - Excedente hídrico anual (EXC) e restituição pluviométrica anual (h).....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Soma das precipitações para os meses de junho, julho e agosto referente aos anos selecionados.....	39
Tabela 2 - Precipitação mensal e total para os anos selecionados.....	40
Tabela 3 - Vazão (Q), intervalo de tempo entre Q e Q_0 e coeficiente de recessão (k)...	42
Tabela 4 - Volume de água contribuinte para a bacia do Rio Taquara.	43
Tabela 5 - Restituição da precipitação anual para os anos selecionados.	44
Tabela 6 - Excedentes (EXC) e deficiências hídricas (DEF) para os anos selecionados.	48
Tabela 7 - Retiradas (RET) e reposição hídrica (REP) para os anos selecionados.	49
Tabela 8 - Porcentual do excedente (EXC) e da restituição (h) que atingiu o aquífero no período de recessão.....	56
Tabela 9 - Volume de água contribuinte (V) e reposição hídrica (REP) dos anos selecionados.	57
Tabela 10 - Coeficiente de recessão (k) e excedente hídrico (EXC).....	58
Tabela 11 - Volume de água contribuinte (V) e total de água retida no solo (ARM).....	58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....	14
1.2 GEOLOGIA	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3 JUSTIFICATIVA	18
4 REFERENCIAL TEÓRICO	19
4.1 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E AQUÍFEROS.....	19
4.2 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.....	20
4.3 SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL (SASG).....	23
4.4 CICLO HIDROLÓGICO E BALANÇO HÍDRICO	25
4.5 RECARGA AQUÍFERA	26
4.6 CURVA DE RECESSÃO	27
5 MATERIAIS E MÉTODOS	29
5.1 METODOLOGIA DA CURVA DE RECESSÃO.....	30
5.1.1 Seleção das curvas de recessão	32
5.2 METODOLOGIA DO BALANÇO HÍDRICO.....	34
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
6.1 CURVA DE RECESSÃO E ESTIMATIVA DE RESTITUIÇÃO PLUVIOMÉTRICA	39
6.2 AVALIAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO	45
6.3 CURVA DE RECESSÃO E BALANÇO HÍDRICO	55
6.3.1 Excedente hídrico e restituição.....	55
6.3.2 Período da curva de recessão, déficit e retirada hídrica	56
6.3.3 Volume e reposição hídrica	57
6.3.4 Coeficiente de recessão e excedente hídrico	57
6.3.5 Total de água retida no solo e volume	58
7 CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

A água é teoricamente um recurso natural que pode ser renovado constantemente pelo ciclo hidrológico, mas sua distribuição é variável no tempo e no espaço, sendo essencial para a sobrevivência dos seres vivos. Sua qualidade, quantidade e uso adequado são extremamente necessários para o desenvolvimento econômico, social e cultural da humanidade. Para manter seus padrões qualitativos e quantitativos adequados às necessidades das gerações futuras, faz-se necessária uma política eficaz de gestão de seus recursos hídricos e ambientais, além da educação e conscientização da população sobre a importância de se proteger e preservar o meio ambiente (SANTOS, 2009).

Os limites hidrográficos de uma bacia hidrográfica é o domínio onde se desenvolvem as atividades humanas e onde ocorrem os balanços de entrada da chuva e saída de água através do exutório. Todas as áreas urbanas, agrícolas, industriais, ou de preservação estão presentes em alguma bacia hidrográfica (PORTO; PORTO, 2008). Costa (1998, p.1) afirma que *o estudo de uma bacia hidrográfica, considerada como a unidade de planejamento dos recursos hídricos, requer uma compatibilização de conceitos entre os recursos hídricos de superfície e subterrâneos*, objetivando uma avaliação global da potencialidade e disponibilidade de água nos domínios geográficos, hidrológico e hidrogeológico daquela bacia.

A água subterrânea no Brasil e no restante do mundo é uma fonte indispensável de abastecimento. Até mesmo em regiões, como o sul e o sudeste do país, que possuem geologia, geomorfologia e climas favoráveis para o acúmulo de águas superficiais, as águas subterrâneas se tornam indispensáveis nos períodos críticos de seca. Por esse motivo, fica evidente a necessidade de planejar seu uso adequado, avaliar, quantificar e estimar os recursos subterrâneos disponível.

É crescente a utilização de aquíferos como fontes de água para consumo humano. Segundo Rebouças (2002), entre as funções dos aquíferos destacam-se a produção de água, estocagem durante as enchentes dos rios, extração de águas

geotermiais e regularização da oferta nos períodos de escassez hídrica ou de picos de demandas.

A região do município de Londrina, localizada na região norte do estado do Paraná, é abastecida parcialmente pelo Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), o qual Athayde et al. (2007) enfatiza ser um dos aquíferos mais importantes do estado, devido a sua área de abrangência, ao seu potencial para abastecimento público e a qualidade química de suas águas, que além do uso público, são utilizadas principalmente para atender a demanda da irrigação, do uso industrial, da rede hoteleira, entre outras atividades. O SASG é constituído por derrames basálticos da Formação Serra Geral e está sobreposto ao Sistema Aquífero Guarani (SAG), ambos constituintes geológicos da Bacia Sedimentar do Paraná (MOCELLIN; FERREIRA, 2009).

Visto a importância regional do SASG para Londrina, avaliações sobre as potencialidades hídricas voltadas a gestão dos recursos são primordiais, objetivando futuramente, que esse importante meio subterrâneo, não seja afetado por superexplorações e/ou outras ações antrópicas que afetem o seu equilíbrio natural.

A recarga de um aquífero pode ser definida como o fluxo de água descendente que encontra o nível da água de um aquífero livre, formando uma reserva de água adicional para as águas subterrâneas (MELO et al., 2005). A estimativa de uma recarga pode ser concretizada por meio de dados de escoamento de base, os quais podem ser obtidos através do método da curva de recessão, que estima a recarga total para cada pico de vazão.

Sendo assim, a importância do presente trabalho é obter informações sobre a disponibilidade hídrica do SASG na área de estudo e compreender a influência da precipitação local em sua recarga, auxiliando profissionais da área na obtenção de uma metodologia adequada que pode ser essencial para o gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos.

1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo é o Rio Taquara, localizada ao sul do município de Londrina, no estado do Paraná (Figura 1).

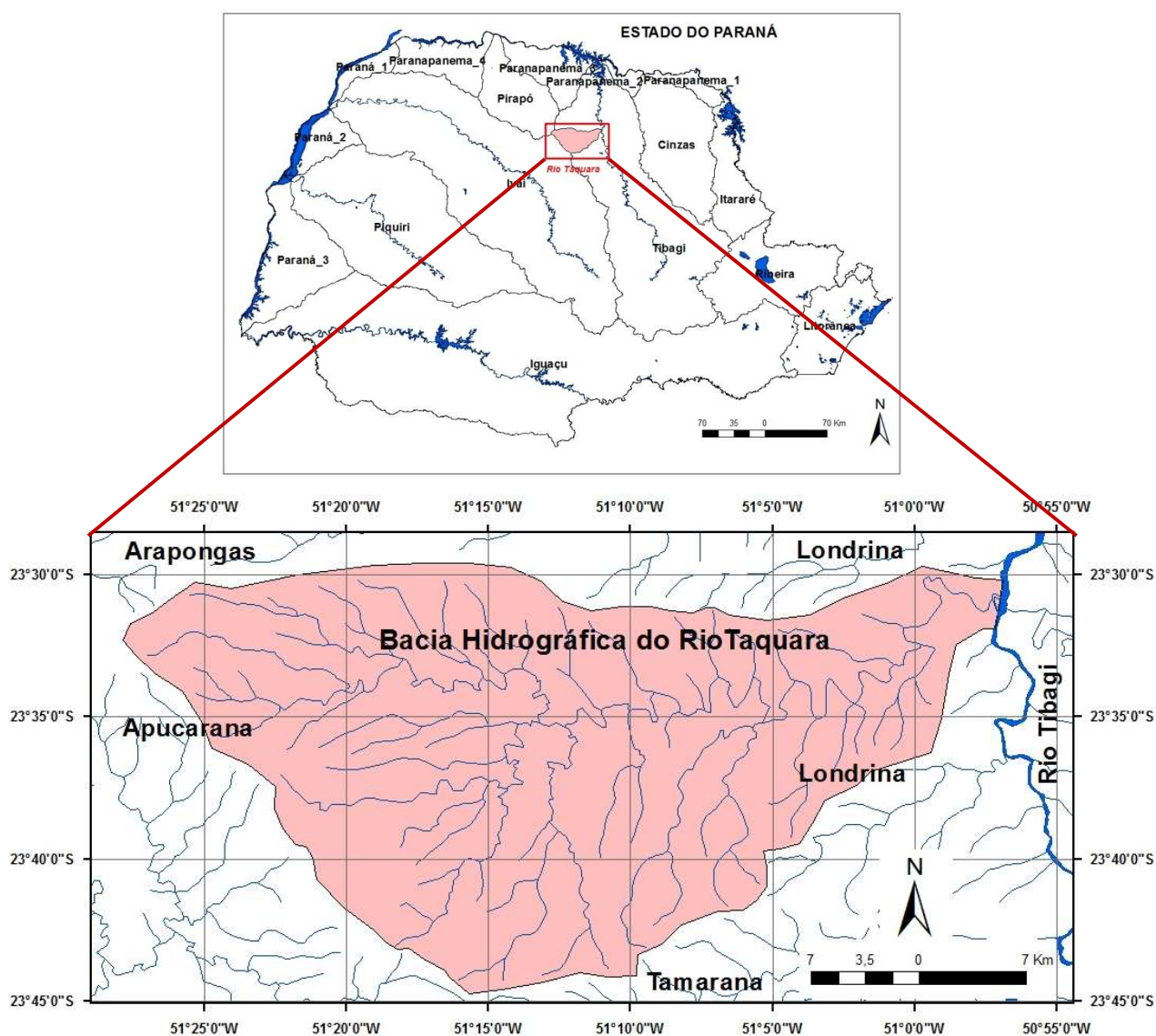


Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Taquara.
Fonte: Modificado de ITCG (2013).

Os municípios que se encontram nos limites geográficos dessa bacia, além de Londrina, são: Arapongas, Apucarana, Califórnia e Marilândia do Sul, bem como os

distritos de São Luiz, Paiquerê, Guaravera e Lerrovile. Limita-se ao norte com a bacia do ribeirão dos Apertados e ao sul com a bacia do rio Apucarantina em uma área que se destaca pela acentuada mecanização agrícola.

Com relação ao uso e ocupação do solo na bacia do Rio Taquara, a maior parte de sua extensão apresenta o predomínio de cultivos agrícolas e pastagens (STIPP, CAMPOS, CAVIGLIONE, 2010).

1.2 GEOLOGIA

Stipp, Campos e Caviglione (2010), explicam que na maior parte da bacia do Rio Taquara, o relevo é ondulado, com altitudes de 420 metros na região da foz e de 870 metros na região das nascentes. A bacia está inserida, no Planalto de Apucarana pertencente ao Terceiro Planalto Paranaense. Esse planalto representa o plano de declive que forma a encosta da escarpa da formação Serra Geral do Paraná.

A Bacia do Paraná sofreu com intenso vulcanismo fissural, constituindo ampla província magmática, definindo no Fanerozóico a maior manifestação ígnea não-oceânica e uma importante contribuição à geração da crosta ocidental do planeta. Esse evento traduziu-se na bacia, como uma espessa cobertura de lavas, uma intrincada rede de diques contendo a completa seção sedimentar. Hoje, após 100 milhões de anos de retrabalhamento erosivo, ainda restam três quartos da área total da bacia recoberta pelas rochas ígneas da Formação Serra Geral, com área de aproximadamente 1.200.000 km² abrangendo os estados do centro-sul do Brasil, partes do Uruguai, Argentina e Paraguai, com uma espessura remanescente que se aproxima dos 2000 metros na região do Pontal do Paranapanema-SP (MILANI, 1997).

A cidade de Londrina encontra-se assentada sobre a Formação Serra Geral. Tal formação pertence ao Grupo São Bento, o qual compreende ainda as formações Botucatu e Pirambóia, porém sua ocorrência não foi constatada na área de estudo, como evidencia a Figura 2.

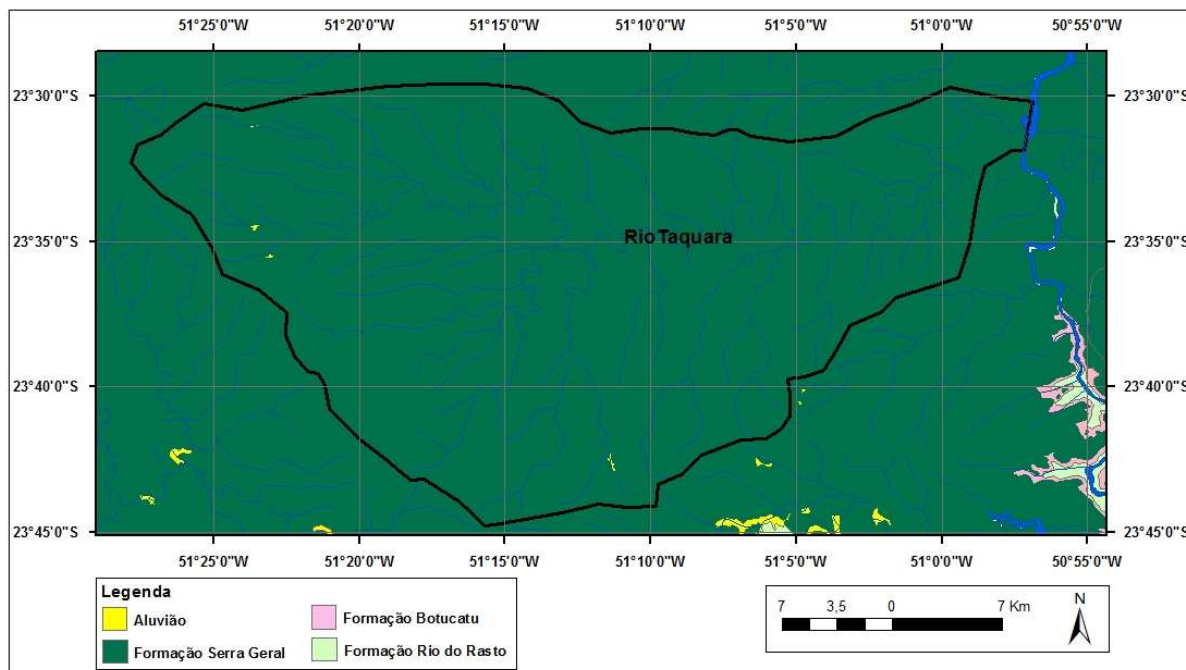


Figura 2 - Mapa geológico da bacia do Rio Taquara.
Fonte: Modificado de MINEROPAR (2001).

A Formação Serra Geral, de maneira generalizada, é composta principalmente por rochas vulcânicas básicas, toleíticas e andesitos basálticos ocorrendo subordinadas quantidades de riodacitos e riolitos, de textura afanítica, coloração cinza e negra. Os topos dos derrames é geralmente amigdaloidal, apresentando grande desenvolvimento de juntas verticais e horizontais com intrusões alcalinas e de pequenas lentes de arenito (MILANI, 1997). Apresenta manto de intemperismo pouco espesso em algumas localidades e de até 30 metros nas regiões mais elevadas topograficamente, que se caracterizam pelas principais zonas de recarga aquífera.

É importante destacar que na área de estudo existe apenas a contribuição do SASG para o fluxo de base do Rio Taquara.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo principal avaliar as potencialidades das reservas subterrâneas do SASG na região de Londrina, através da utilização do método de curva de recessão aplicado na Bacia Hidrográfica do Rio Taquara e, desse modo, contribuir para uniformização ou a padronização de métodos, conceitos e de avaliações aplicados na gestão dos recursos hídricos subterrâneos, verificando as influências da variabilidade meteorológica na recarga do SASG na região em estudo, a partir do balanço hídrico regional.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantamento de dados de séries históricas de pluviometria, temperatura do ar e fluviometria através de consulta a estação localizada na região de abrangência da área estudada.
- Avaliação dos dados históricos de pluviometria e fluviometria para seleção dos anos que melhor representam o cálculo da curva de recessão.
- Estimativa do balanço hídrico regional da área de estudo.
- Aplicação da metodologia para os cálculos do coeficiente de recessão (k), do volume de água contribuinte para a bacia para cada ano selecionado (V) e da restituição média para os mesmos anos (h).
- Análise entre o balanço hídrico regional e a disponibilidade de recarga para o SASG na Bacia Hidrográfica do Rio Taquara.

3 JUSTIFICATIVA

Os aquíferos têm se tornado uma opção eficaz e confiável para abastecer as populações com água de qualidade e que, em muitos casos, dispensa tratamento convencional. As águas subterrâneas no domínio das bacias hidrográficas estão sendo exploradas constantemente e nem sempre de maneira adequada, o que pode causar danos irreversíveis aos aquíferos. Nesse contexto, surge a importância de utilizar métodos que proporcionem avaliações sobre a potencialidade hídrica de aquíferos, direcionada sobre tudo a sua recarga, e escoamento de base, obtendo assim, informações relevantes de sua situação atual que indiquem a quantidade de água existente e com qual intensidade esse aquífero pode ser explorado sem sofrer impactos ambientais negativos.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E AQUÍFEROS

A fração de água que sofre infiltração e percorre o subsolo ocupando vazios nas formações rochosas é denominada água subterrânea. A maior parte das pessoas confia no conceito equivocado de que os rios, lagos e barragens são a maior fonte de atendimento das necessidades humanas. No entanto, aproximadamente 97% da água doce disponível no planeta se encontra no subsolo (FEITOSA; MANUEL FILHO, 2000).

A crise decorrente da necessidade de água potável é uma realidade em nível mundial, principalmente pelos aspectos vinculados à poluição antrópica que degrada a composição natural da água, um bem mineral estratégico e esgotável em sua qualidade primária. Associada a esta, a procura por água subterrânea aumenta a cada dia em função de aliar a proximidade da fonte hídrica à demanda, seus aspectos qualitativos, comparativamente melhores do que os das águas superficiais, a melhor proteção em relação a evaporação e, principalmente, o menor custo de captação. Essa captação de água subterrânea, feita através de poços, para que ocorra de forma segura e sustentável depende da identificação dos sistemas aquíferos, dos projetos técnico-construtivos de poços e da qualidade da água (CAVALCANTE et al., 2008, p.2).

Segundo Teixeira et al. (2000), os aquíferos são unidades rochosas ou de sedimentos, porosas e permeáveis que acumulam e transmitem volumes expressivos de água subterrânea sujeita à exploração pela sociedade. Bons aquíferos são aqueles que apresentam materiais com média a alta condutividade hidráulica, como rochas sedimentares, sedimentos inconsolidados, rochas vulcânicas, plutônicas e metamórficas com alto grau de fraturamento.

Os aquíferos podem ser divididos em livres e confinados (quanto às suas características hidráulicas) e em granulares, fissurais e cársticos (em relação ao tipo de porosidade da rocha armazenadora). Os aquíferos livres estão mais perto da superfície, onde a zona saturada (que ocorre quando os poros são preenchidos totalmente por água) tem contato direto com a zona não saturada (os poros são preenchidos parcialmente por água e por ar), ficando submetido à pressão atmosférica. Neste caso,

a água que infiltra no solo atravessa a zona não saturada e recarrega o aquífero diretamente. Já os aquíferos confinados são limitados no topo e na base por camadas de rocha de baixa permeabilidade, nesse caso estão submetidos a uma pressão maior que a atmosférica, por causa da presença de uma camada confinante sobreposta a ele. Assim, o nível da água tem pressão para atingir uma altura acima do topo do aquífero, mas é impedida pela camada confinante (EZAKI; IRITANI, 2008).

Nos aquíferos granulares a água circula entre espaços intergranulares ou poros existentes sendo representado como maior exemplo as rochas sedimentares. Os aquíferos fissurais, desenvolvem-se principalmente em rochas ígneas, como representado pelo SASG e em rochas metamórficas, onde a água circula através de fraturas ou diaclases, existentes na rocha sadia provocadas por movimentações tectônicas ou por resfriamento (Figura 3). Os aquíferos cársticos se formam depois da dissolução da rocha, o que ocorre devido a circulação contínua da água, com formação de tubos ou condutos por onde a água circula (OLEAGA; PACHECO; FELLER, 2009).

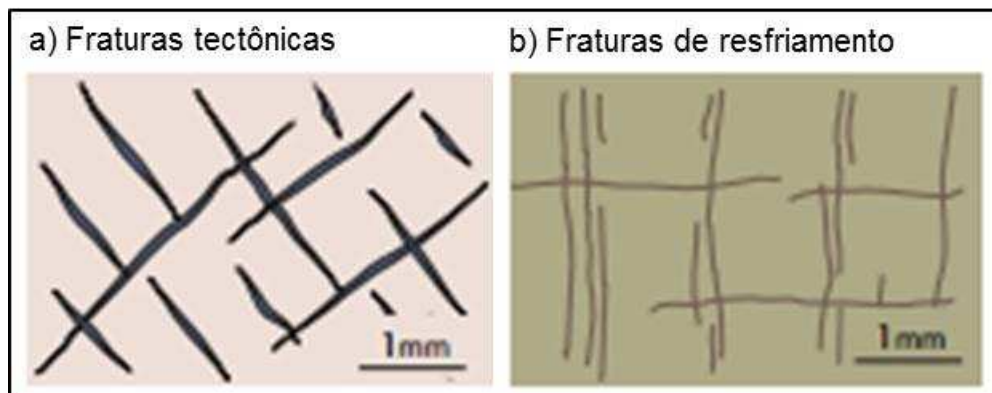


Figura 3 - Aquífero fissural: a) fraturas provocadas por movimento tectônico e b) juntas de resfriamento de rochas ígneas
Fonte: Teixeira et al., 2000.

4.2 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Entre os principais focos de atenção das políticas ambientais em nível global, estão a degradação da qualidade da água e sua escassez. Os modelos de

desenvolvimento baseados na utilização irracional dos recursos naturais motivaram reações e a busca por soluções ambientalmente corretas. A partir dos anos 80, as iniciativas de modernização dos modelos e sistemas nacionais de gestão de água aproveitaram-se do movimento global que estava acontecendo de sustentabilidade. O processo de valorização e modernização da gestão da água no Brasil permitiu e exigiu uma maior participação da sociedade, sendo que no início do século XXI, esse processo se tornou um dos elos mais eficientes entre as esferas política e acadêmica, e a sociedade civil (MAGALHÃES JÚNIOR, 2010).

Um importante marco jurídico para o gerenciamento dos recursos hídricos foi a criação do Código das Águas, estabelecido pela Lei 24.643 de 10 de julho de 1934. Porém, ele privilegiava os usos de aproveitamento hidrelétrico da água e não era eficaz no combate aos problemas crescentes do século XX causados pelo desenvolvimento econômico e pelo processo de urbanização, como: poluição dos corpos d'água, aumento da demanda de água na indústria e na agricultura, enchentes, etc. (FONSECA; PRADO FILHO, 2006).

Em 1997, foi implantada a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/97), que reconheceu a água como bem econômico e recurso natural limitado. Essa Política estabeleceu a cobrança dos recursos hídricos (como um dos seus instrumentos) visando incentivar a racionalização da sua utilização, por meio da fixação dos valores a serem cobrados pelos usos da água tais como o lançamento de efluentes nos recursos hídricos e a captação (ANDRADE; MARINHO; KIPERSTOK, 2001).

A reforma institucional do setor de recursos hídricos no Brasil veio a concretizar-se em 2000, com a publicação da Lei Federal nº 9.984, de 20 de junho, que criou a Agência Nacional de Águas (ANA). O País passou então a dispor de entidade com autonomia, estabilidade e agilidade suficientes para ser capaz de estabelecer o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), divulgado pela Constituição Federal de 1988. A ANA submete-se aos fundamentos, objetivos, diretrizes e instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos e associa-se com órgãos e entidades públicas e privadas, integrantes do SINGREH (PEREIRA; JOHNSON, 2005).

Teixeira et al., (2000), define uma bacia hidrográfica como uma área de captação da água de precipitação, demarcada por divisores topográficos, onde toda água captada converge para um único ponto de saída, o exutório. A política nacional de recursos hídricos estabelece a bacia hidrográfica como unidade de gestão. Para tanto, foi criado o Comitê de Bacia Hidrográfica, que segundo Abers e Keck (2004, p.57) é responsável pelo *estabelecimento de diretrizes e prioridades para a gestão da água, através dos planos de bacia; a deliberação sobre metodologia, critérios e preços de cobrança; e a criação das agências de bacia.*

O Instituto das Águas do Paraná (2012) define que os objetivos do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos são:

“Coordenar a gestão integrada das águas; Implementar a Política Estadual de Recursos Hídricos; Arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos; Planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos e dos ecossistemas aquáticos do Estado; Promover a cobrança pelos direitos de uso de recursos hídricos.”

O sistema é composto por: Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH), Instituto das Águas do Paraná, Comitês de Bacia Hidrográfica, Agências de Bacia Hidrográfica e Secretaria do meio ambiente (SEMA) (Figura 4).

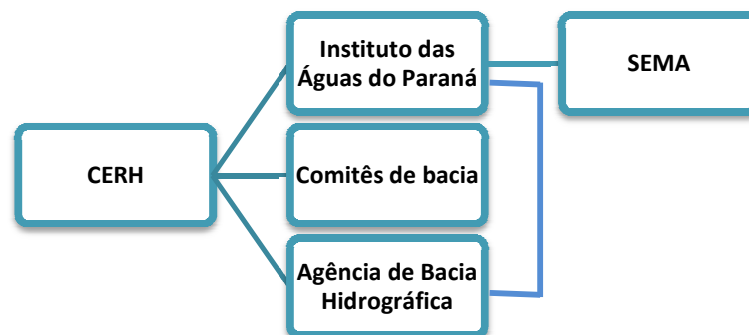


Figura 4 - Estrutura do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Fonte: Modificado de Instituto das Águas do Paraná (2012).

Entender a disponibilidade dos aquíferos e a qualidade de suas águas é fundamental para estabelecer uma política de gestão das águas subterrâneas. A exploração de água subterrânea depende de três fatores: quantidade, qualidade (influenciada pelas condições climáticas e de renovação das águas) e econômico (que

varia com a profundidade do aquífero e suas condições de bombeamento) (SETTI et al., 2001).

Se tratando da exploração dos recursos hídricos, há uma crescente utilização dos mananciais subterrâneos para abastecer a demanda de água que merece destaque, tanto para o abastecimento público quanto para os setores da economia. Esse acontecimento é consequência das vantagens das águas subterrâneas em relação às águas superficiais, destacando-se sua qualidade, que é na maioria das vezes melhor devido à maior proteção natural dos aquíferos à contaminação, além do fator econômico. Porém, o aumento da demanda leva a uma exploração em excesso das águas subterrâneas, o que pode provocar efeitos físicos, econômicos, sociais e/ou ecológicos, cujo balanço final é negativo à sociedade atual e às gerações futuras (SANTOS, 2009).

4.3 SISTEMA AQUIFERO SERRA GERAL (SASG)

A área urbano-industrial da cidade de Londrina-PR se situa na porção sudeste da Bacia Sedimentar do Paraná, que é uma região caracterizada litologicamente pelas rochas basálticas da Formação Serra Geral. Em função dos aspectos litológicos dessa Formação, a presença das águas subterrâneas na área de estudo fica condicionada à duas formas de ocorrência: o aquífero freático, ou à zona saturada do solo e rochas alteradas e às zonas aquíferas da Formação Serra Geral (CELLIGOI e VIANA 2002).

O SASG envolve as rochas que formam a sequência de derrames de lavas basálticas apresentando intercalações de camadas intertrapianas de lentes arenosas que capeiam as formações paleozóicas da Bacia Sedimentar. Essa formação é o resultado do intenso magmatismo fissural, que começou quando ainda perduravam as condições desérticas de sedimentação da Formação Botucatu (80 milhões de ano), alcançando espessuras de até 1500 metros (SCHNEIDER et al. 1982, apud MENDES et al., 2002, p.9).

4.4 CICLO HIDROLÓGICO E BALANÇO HÍDRICO

Segundo Tundisi (2003), a característica fundamental de qualquer volume de água superficial encontrada em rios, lagos, tanques, represas artificiais e águas subterrâneas são a sua instabilidade e mobilidade. Os fatores que movem o ciclo hidrológico (Figura 6) são a energia térmica solar, a força dos ventos, que transportam vapor d'água para os continentes, a força da gravidade responsável pelos fenômenos da precipitação, da infiltração e deslocamento das massas de água. A evaporação de oceanos, rios e lagos, a precipitação na forma de chuva, gelo e neve, a transpiração das plantas, a infiltração e o escoamento superficial e subterrâneo, são os principais componentes do ciclo hidrológico.



Figura 6 - Ciclo Hidrológico e seus principais componentes
Fonte: USGS (2013).

Por meio desses componentes, é possível fazer uma estimativa que quantifique as águas que passam por cada uma dessas etapas, utilizando a aplicação do princípio da conservação da massa, cuja formulação representa a equação do balanço hídrico. O balanço hídrico é uma equação da continuidade aplicada ao ciclo hidrológico em uma

bacia hidrográfica ou em uma determinada região, que caracteriza a relação entre os fluxos médios de água que entram e que saem de um sistema definido no espaço e o volume armazenado, durante um intervalo de tempo (HELLER; PÁDUA, 2006).

O ciclo da água pode ser considerado um mecanismo imperfeito, segundo o ponto de vista da sociedade, pelo fato da distribuição espacial das chuvas ocorrerem de forma desigual na superfície terrestre. Uma grande parte das chuvas se perde nos oceanos antes de chegar aos continentes. As condições geográficas naturais ou modificadas pela ação humana (vegetação, ventos, relevo, etc.) também influem na distribuição desigual das chuvas pelo espaço, produzindo áreas desérticas e semi-áridas atingidas por problemas crônicos ou sazonais de escassez em vários locais do planeta. Outro motivo que faz com que o ciclo seja imperfeito, é que a temporalidade dos processos em curso não obedece aos ritmos da atividade social, especialmente com relação ao deflúvio subterrâneo, onde a água se desloca com velocidades muito baixas, realimentando os aquíferos mais profundos e os demais corpos d'água (VARGAS, 1999).

A precipitação é principal responsável pela recarga dos aquíferos, porém, os processos envolvidos nesses mecanismos são complexos, principalmente pelo fato de não haver uma ligação direta entre a precipitação e recarga. O processo abrange o fluxo na zona não-saturada, que está sujeita aos fluxos subsuperficiais e à evapotranspiração. A taxa de infiltração depende de vários parâmetros que são consideravelmente variáveis no tempo e espaço (BARRETO, 2006).

4.5 RECARGA AQUÍFERA

Os estudos de recarga aquífera são de extrema importância em hidrogeologia para a obtenção do volume aproximado de recursos hídricos subterrâneos anualmente renováveis e têm implicações diretas no planejamento e gestão integrada dos recursos hídricos regionais. A recarga aquífera pode ser caracterizada como a água que entra na zona saturada, a partir da percolação vertical proveniente da zona não saturada, mas

também do escoamento lateral a partir das fronteiras do sistema. Avaliar de maneira adequada a recarga de um aquífero é essencial no cálculo das disponibilidades hídricas para abastecimento público e agricultura ou em zonas de conflito de interesses, além de implicar no balanço hídrico geral dos sistemas aquíferos (PARALTA et al., 2003). Melo et al. (2005, p.103) explica que *a recarga das águas subterrâneas pode ocorrer naturalmente das precipitações, rios, canais e como um fenômeno induzido pelo homem através de atividades de irrigação e de urbanização.*

Os cursos de água que mantêm regime natural de escoamento permanente em uma bacia hidrográfica, obtêm águas subterrâneas restituídas quase exclusivamente da descarga natural dos aquíferos, proveniente da sua capacidade de armazenamento. Essas águas constituem o escoamento de base ou a componente subterrânea do deflúvio superficial total no período de estiagem (GONÇALVES; SCUDINO; SOBREIRA, 2005).

Segundo Almeida e Filho (2010), alguns parâmetros hidrológicos, como medidas de vazões efetuadas em rios, podem ser utilizados para estimar a recarga e o potencial de um aquífero, por meio de diversas técnicas. Um dos métodos mais utilizados para estimar essa recarga é o escoamento de base, através de uma curva de recessão.

4.6 CURVA DE RECESSÃO

O estudo da capacidade de armazenamento subterrâneo em uma bacia hidrográfica é feito com base no deflúvio do período de esgotamento ou recessão hidrológica. O esgotamento constitui um período sem recarga significativa dos aquíferos seguido por uma diminuição da descarga natural de restituição dos aquíferos aos rios, que se constata ao longo do período de estiagem ou recessão, caracterizando o regime dos cursos de água em período de déficit pluviométrico. A descarga natural no período de recessão é associada à restituição subterrânea, que está condicionada a um diferencial de carga hidráulica entre os aquíferos e os canais luviais. A relação entre a

carga hidráulica e a vazão do escoamento do fluxo de base pode ser chamada de curva de recessão (GONÇALVES; SCUDINO; SOBREIRA, 2005).

De maneira simplificada, Barbosa e Fill (2001, p.168), define a curva de recessão como sendo *a vazão expressa em função do tempo, durante um período sem precipitações significativas, em que o rio é alimentado exclusivamente pelas contribuições do aquífero subterrâneo*. Assim, ao obter essa curva, será possível calcular a quantidade de água das chuvas destinadas a recarga local do aquífero de acordo com períodos pré-selecionados (CELLIGOI e VIANA, 2002).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa bibliográfica realizada foi baseada em trabalhos científicos, teses e dissertações, relacionados à gestão de recursos hídricos, às águas subterrâneas e ao cálculo de recessão hidrológica.

Para o alcance dos objetivos formulados, foram levantados dados relativos à séries históricas de pluviometria, temperatura do ar e fluviometria da região de estudo, referentes a 22 anos pertencentes ao intervalo de 1988 à 2010.

Os dados meteorológicos foram obtidos do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e os fluviométricos do Instituto das Águas do Paraná, pertencente a Estação Sítio Igrejinha, situada ao sul de Londrina, no Rio Taquara (Figura 8 - Estação fluviométrica Sítio Igrejinha.. A estação está entre as coordenadas geográficas de 23°33'38" de latitude e 51°01'49" de longitude.

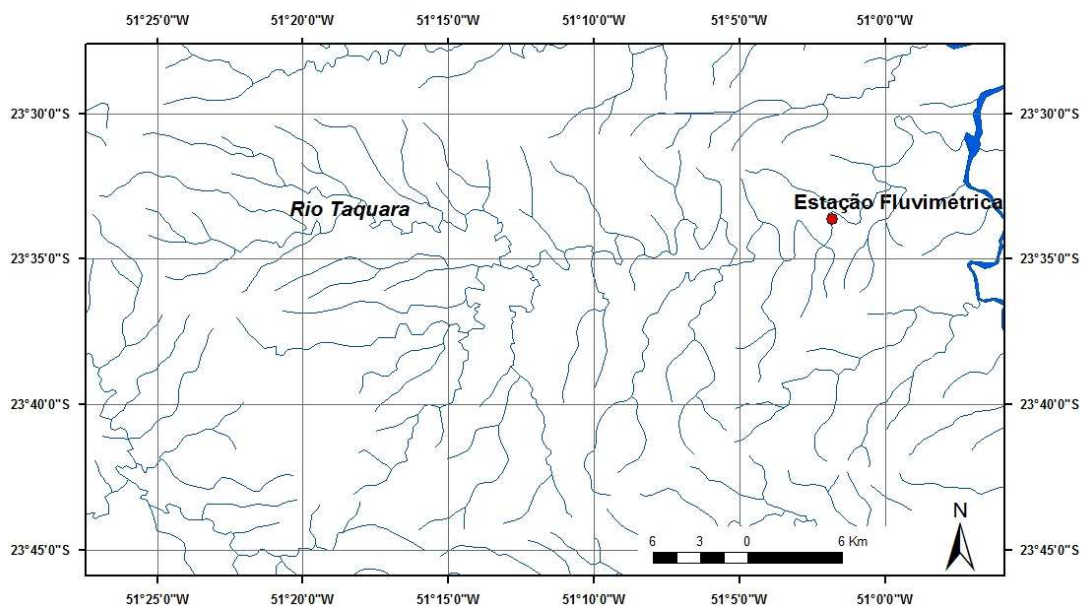


Figura 7 - Mapa de localização da estação fluviométrica Sítio Igrejinha no Rio Taquara. Fonte: Modificado de ITCG (2013).



**Figura 8 - Estação fluviométrica Sítio Igrejinha.
Fonte: Instituto das Águas do Paraná (2009).**

O software Microsoft Excel 2007 foi utilizado para realizar todos os cálculos e gráficos para obter a curva de recessão, bem como a estruturação e organização inicial do banco de dados produzido.

5.1 METODOLOGIA DA CURVA DE RECESSÃO

A equação 1 (Rosa Filho, 1993 e Celligoi, 2000) foi utilizada para obter a curva de recessão.

$$Q = Q_0 e^{-kt} \quad (1)$$

Onde:

Q = representa a descarga do rio em m^3/s após um período t (dias);

Q_0 = a descarga do rio no início da recessão em m^3/s ;

k = a constante de recessão.

A curva de recessão a ser gerada será em escala logarítmica, similar a curva apresentada na Figura 9.

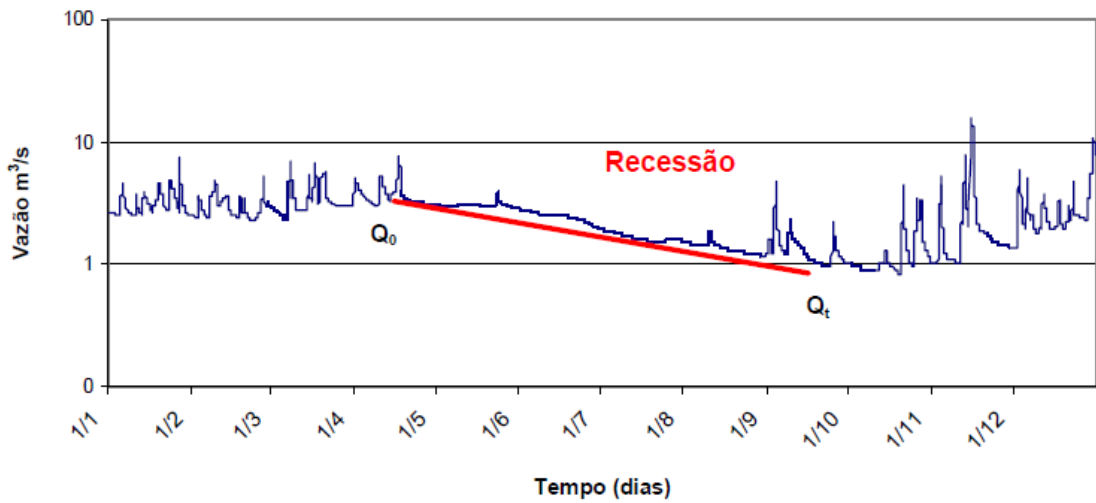


Figura 9 - Exemplo de Curva de Recessão
Fonte: Celligoi e Viana (2002, p.8).

Ao se aplicar o logaritmo e reorganizar a equação (1), encontra-se a constante de recessão (k) por:

$$k = - \frac{\ln(Q) - \ln(Q_0)}{\Delta t} \quad (2)$$

Onde:

Δt = intervalo de tempo decorrido desde o início até o final da recessão.

O volume de água contribuinte para a bacia para cada ano selecionado (V) em m^3 /ano foi encontrado por:

$$V = \frac{Q_0 \cdot 86400}{K} \quad (3)$$

A restituição (h) em mm foi obtida por:

$$h = \frac{V}{A} \quad (4)$$

Onde:

A = área da bacia hidrográfica do Rio Taquara de 819 km², segundo dados fornecidos pelo Instituto das Águas do Paraná.

5.1.1 Seleção das curvas de recessão

Para a seleção dos hidrogramas que representaram as melhores curvas de recessão, foi construída uma planilha contendo dados de precipitação (P) e vazão (Q) diária, para cada ano presente na série histórica levantada (1988 a 2010), bem como médias de precipitação anual. A proposta inicial era utilizar os três anos da série histórica que apresentassem menores médias anuais. Porém, foi verificado que esse método não resultaria em curvas de recessão ideais.

Durante o período de estiagem as precipitações não são significativas, nesse momento o fluxo de base do rio passa a ser alimentado somente pela reserva subterrânea (excluindo os efluentes urbanos), sendo possível estimar, através da aplicação de métodos adequados, o volume anual da reserva hídrica subterrânea.

Nesse sentido, Carvalho e Stipp (2004) comprovaram, a partir de estudos climatológicos, que o período anual de menor precipitação em Londrina-PR e região são os meses de junho, julho e agosto (estação de inverno). Assim, optou-se por calcular, a partir da série histórica levantada, os intervalos mais secos (com menor ocorrência possível de chuva) no período de estiagem citado, possibilitando a seleção dos anos que representam as curvas ideais para o emprego do método de recessão

Para realização do cálculo, foi somada a precipitação diária de junho, julho e agosto, de cada ano da série histórica. Os valores encontrados foram colocados em ordem crescente, escolhendo-se assim três anos com as menores precipitações durante esse período analisado.

Com a finalidade de certificar se realmente esses três anos apresentavam as melhores curvas de recessão, foram confrontados gráficos de precipitação média mensal (Figura 10) e de vazão diária em escala logarítmica (Figura 11), de todos os anos. Dessa forma, a partir da análise dos resultados, chegou-se à conclusão que o

critério aplicado foi uma boa escolha, dado a resposta da queda da vazão com a diminuição progressiva das precipitações nos períodos de estiagem.

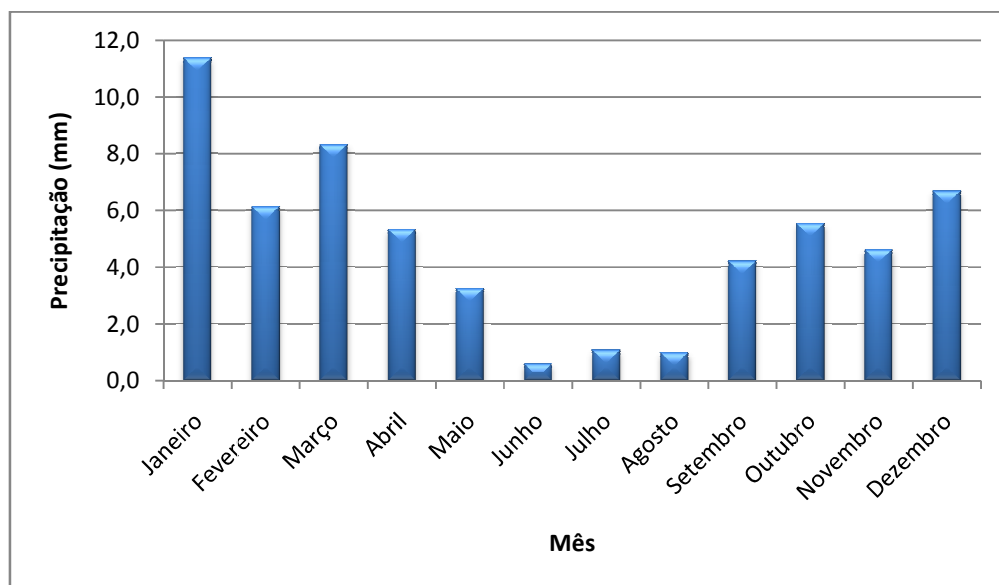


Figura 10 - Exemplo de gráfico de barras de precipitação média diária do ano de 2010.

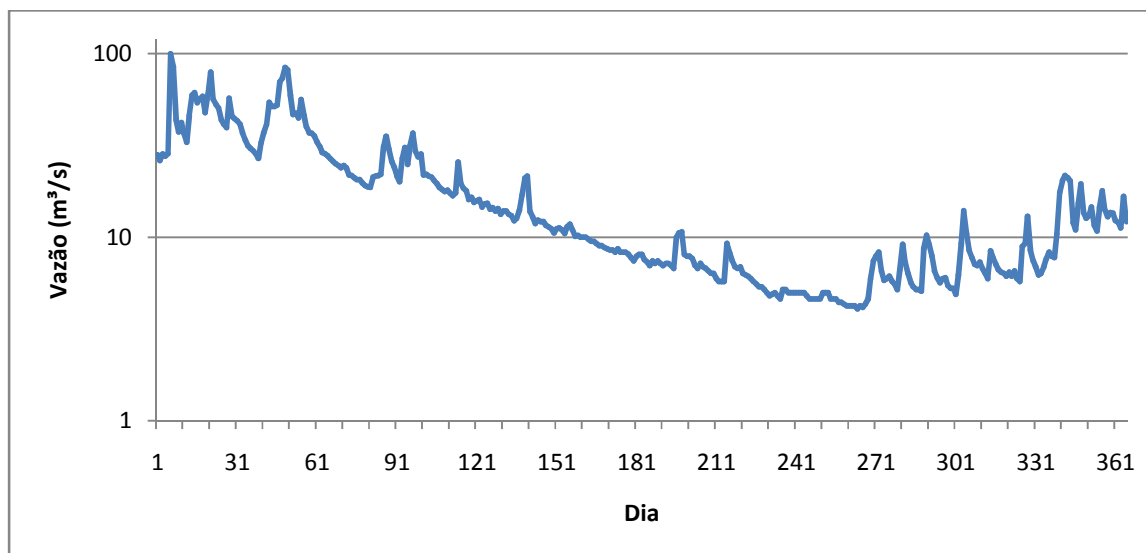


Figura 11 - Exemplo de gráfico em escala logarítmica de vazão diária do ano de 2010.

Segue abaixo o fluxograma (Figura 12) das atividades empregadas na escolha dos anos utilizados para a curva de recessão:

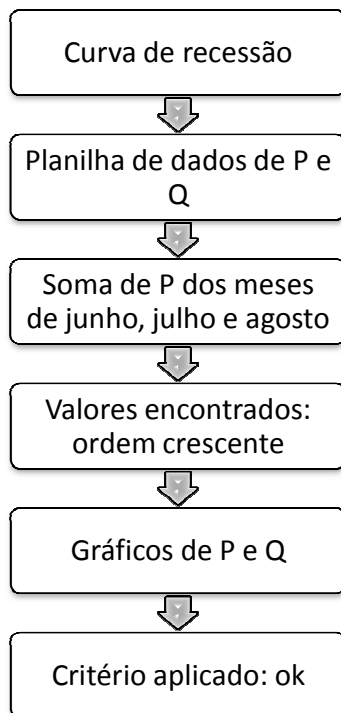


Figura 12 - Fluxograma das atividades desenvolvidas na escolha dos anos mais secos utilizados para a curva de recessão.

Em termos de comparação, foi selecionado um ano mais úmido para a série histórica levantada para o cálculo da curva de recessão. Para esse ano, o critério de seleção levou em consideração as precipitações ocorridas ao longo do ano. Assim, foram avaliados o total da série histórica, fazendo a soma das precipitações médias mensais de cada ano. Todos os valores foram colocados em ordem crescente, utilizando-se assim o ano que obteve a maior precipitação anual.

5.2 METODOLOGIA DO BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico climatológico criado por Thorntwaite e Mather (1955), foi desenvolvido para determinar o regime hídrico de um local, sem necessidade de medidas diretas das condições do solo (MONTEIRO et al., 2011). Este método proporciona o conhecimento dos principais fatores ligados ao balanço hídrico, como as

evapotranspirações potencial e real, excedentes e deficiências hídricas. Por esse motivo ele foi utilizado em diversos trabalhos recentes como: Nóbrega et al. (2008), Santos (2009), Damião et al. (2010) e Terassi, et al. (2011). Além disso, ele permite uma melhor compreensão dos ganhos e perdas constantes no ciclo hidrológico, um fato de extrema relevância para esse estudo, pois as chuvas influenciam diretamente o volume de infiltração e, por conseguinte, a recarga direta dos aquíferos.

Diante dessas considerações, o balanço hídrico regional da área de estudo foi estimado através da metodologia empregada por Thornthwaite e Mather (1955), por meio do software BHnorm v5, baseado em planilhas de Excel (Figura 13), elaborado pelo departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP, por Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998).

Balanço Hídrico Normal por Thornthwaite & Mather (1955)
 Rolim de Souza Rolim
 Paulo César Sentelhas
 Departamento de Física e Meteorologia ESALQ-USP
 BHnorm V5.0 1999

CIDADE → Londrina | LATITUDE -23,00
 CAD (mm) → 100 | ANO 1996
 Comentários :
 Cálculos OK!

PLANILHA DE ENTRADA DOS DADOS										Área reservada para novas fórmulas			
Meses	Num de dias	T oC	P mm	N horas	I	a	ETP Thornthwaite 1976-1997	Latitude = -23,00					
								NDA	δ	hn	N		
Jan	30	24,0323	211	13,38	10,82	2,34	121,68	1	-23,01	100,39	13,385		
Fev	28	23,8986	200,1	13,04	10,68	2,34	108,39	31	-17,78	97,824	13,043		
Mar	31	23,0326	214,8	12,49	10,10	2,34	105,54	59	-8,67	93,711	12,495		
Abr	30	21,6333	53	11,79	9,22	2,34	83,82	90	3,6185	88,462	11,795		
Mai	31	18,62581	32,2	11,15	7,32	2,34	57,36	120	14,587	83,658	11,154		
Jun	30	16,59667	13,5	10,69	6,15	2,34	40,62	151	21,898	80,176	10,69		
Jul	31	16,00968	8,1	10,60	5,82	2,34	38,28	181	23,184	79,526	10,603		
Ago	31	19,50645	29,7	10,93	7,85	2,34	62,62	212	18,171	81,991	10,932		
Set	30	19,66333	174,3	11,54	7,95	2,34	65,17	243	8,1046	86,535	11,538		
Out	31	21,72258	176,3	12,22	9,24	2,34	89,99	273	-3,818	91,623	12,216		
Nov	30	23,16666	248,9	12,87	10,19	2,34	106,68	304	-15,06	96,557	12,874		
Dez	31	23,88709	296,3	13,31	10,67	2,34	122,47	334	-21,97	99,86	13,315		

RESULTADOS														
Meses	Num de dias	T oC	P mm	N horas	I	a	ETP Thornthwaite 1976-1997	P-ETP mm	NEG-AC	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	30	24,1	211,1	13,4	10,8	2,3	121,68	89,4	0,0	100,00	0,00	121,7	0,0	89,4
Fev	28	23,9	200,1	13,0	10,7	2,3	108,39	91,7	0,0	100,00	0,00	108,4	0,0	91,7
Mar	31	23,0	214,8	12,5	10,1	2,3	105,54	109,3	0,0	100,00	0,00	105,5	0,0	109,3
Abr	30	21,7	53,0	11,8	9,2	2,3	83,82	-30,8	-30,8	73,46	-26,52	79,5	4,3	0,0
Mai	31	18,6	32,2	11,2	7,3	2,3	57,36	-25,2	-56,0	57,13	-16,34	48,5	8,8	0,0
Jun	30	16,6	13,5	10,7	6,1	2,3	40,62	-27,1	-83,1	43,56	-13,57	27,1	13,6	0,0
Jul	31	16,0	8,1	10,6	5,8	2,3	38,28	-30,2	-113,3	32,21	-11,35	19,4	18,8	0,0
Ago	31	19,5	29,7	10,9	7,9	2,3	62,62	-32,9	-146,2	23,18	-9,04	38,7	23,9	0,0
Set	30	19,7	174,3	11,5	7,9	2,3	65,17	109,1	0,0	100,00	76,62	65,2	0,0	32,3
Out	31	21,7	176,3	12,2	9,2	2,3	89,99	86,3	0,0	100,00	0,00	90,0	0,0	86,3
Nov	30	23,2	248,9	12,9	10,2	2,3	106,68	142,2	0,0	100,00	0,00	106,7	0,0	142,2
Dez	31	23,9	296,3	13,3	10,7	2,3	122,47	173,8	0,0	100,00	0,00	122,5	0,0	173,8
TOTAIS		251,9	1658,3	144,0	106,0	28,0	1002,64	655,7		930	0,00	933,3	69,4	725,0
MÉDIAS		21,0	138,2	12,0	8,8	2,3	83,55	54,6		77,5		77,8	5,8	60,4

Figura 13 – Parte da Planilha do software BHnorm v5.
 Fonte: Planilha de Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998).

Para encontrar os excedentes e deficiências hídricas, deve-se inserir na planilha, a temperatura do ar média mensal, a soma diária de precipitação de cada mês e a latitude da área estudada.

Tremocoldi (2008) define dois conceitos que devem ser levados em consideração para compreensão do balanço hídrico:

“Evapotranspiração potencial: quantidade de água que evapora do solo e transpira pelas plantas, em uma condição ideal, em que o solo esteja bem suprido de umidade e coberto com vegetação rasteira verde e uniforme.
Evapotranspiração real: perda de água reduzida total ou parcialmente, por falta de umidade no solo, em geral, igual ou inferior à potencial.”

A Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH (2009), explica que a fórmula de Thornthwaite, considerando a temperatura média mensal, gera a evapotranspiração potencial mensal (ETP), em mm, através de:

$$ETP = 16K\left(\frac{10T}{I}\right)^a \quad (5)$$

Em que:

K = fator de correção dependente da latitude;

T = temperatura média mensal em °C;

I = índice térmico anual em mm;

a = constante dependente do local.

O somatório dos índices térmicos mensais, calculados pela planilha de Rollim, Sentelhas e Barbieri (1998), resulta no índice térmico anual:

$$I = \sum_{i=1}^{12} I_i \quad (6)$$

Onde:

$$I_i = (0,2 \cdot T)^{1,514} \quad (7)$$

I_i = índice térmico que varia de 1 a 12 (janeiro e dezembro).

Santos (2002), explica o funcionamento da planilha utilizada, através das expressões de 8 a 13.

A P-ETP calculada pela planilha consiste na diferença entre o total da precipitação mensal (P) e a evapotranspiração potencial.

Se P-ETP for negativo, é possível determinar a negativa acumulada (NEG-AC) por:

$$\text{NEG} - \text{AC} = \text{NEG} - \text{AC}_{-1} + (P - \text{ETP}) \quad (8)$$

Sendo que:

NEG-AC₋₁ = negativa acumulada do mês anterior.

O armazenamento de água no solo (ARM) é:

$$\text{ARM} = \text{CAD} \cdot e^{\left(\frac{\text{NEG-AC}}{\text{CAD}}\right)} \quad (9)$$

Onde:

CAD = capacidade de água disponível de 100 mm. Essa quantidade, segundo Klering et al. (2004) é suficiente para atender a demanda de evapotranspiração da maioria das culturas durante o período de um mês.

A alteração da umidade do solo (ALT) é dada por:

$$\text{ALT} = \text{ARM}_i - \text{ARM}_{i-1} \quad (10)$$

Em que:

ARM_i = ARM do mês atual;

ARM_{i-1} = ARM do mês anterior.

A evapotranspiração real (ETR) segue a seguinte relação:

$$\text{Se } (P - \text{ETP}) \geq 0, \text{ então } \text{ETR} = \text{ETP} \quad (11)$$

$$\text{Se } (P - \text{ETP}) < 0, \text{ então } \text{ETR} = P - \text{ALT} \quad (12)$$

Quando P-ETP for maior que 0 e ARM = CAD, o excedente hídrico (EXC) é:

$$EXC = (P - ETP) - ALT \quad (13)$$

O déficit hídrico (DEF) é a diferença entre evapotranspiração potencial e evapotranspiração real.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos foram separados em dois tópicos: o primeiro que representa a análise da aplicação da metodologia da curva de recessão no Rio Taquara e o segundo que avalia a estimativa de restituição pluviométrica referente ao balanço hídrico realizado para a área de estudo. Posteriormente, esses assuntos foram analisados em conjunto, de forma a atender o objetivo principal proposto pelo trabalho.

6.1 CURVA DE RECESSÃO E ESTIMATIVA DE RESTITUIÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Os anos mais secos selecionados para o cálculo da curva de recessão foram os de 1988, 1996 e 2006, e, em termos comparativos, o ano úmido escolhido foi o de 2009. Como discutido na metodologia, para a escolha desses anos foram somados, primeiramente, o total das precipitações dos meses de junho, julho e agosto, para todo período de análise (1988 a 2010), obtendo assim, os invernos mais secos (Tabela 1), o que privilegia o cálculo da recessão.

Entre os anos mais secos, o de 1996 apresentou a menor soma das precipitações do período selecionado e o ano de 2009 obteve a maior soma (como era esperado).

Tabela 1 - Soma das precipitações para os meses de junho, julho e agosto referente aos anos selecionados.

Ano	Precipitações (mm)
1988	59,8
1996	51,3
2006	83,0
2009	436,7

A Tabela 2 possui a soma das precipitações mensais, para os anos selecionados, utilizados para o cálculo do balanço hídrico e para a construção dos

gráficos pluviométricos. O ano de 2006 e o ano de 2009 possuem a menor e a maior precipitação anual, respectivamente.

Tabela 2 - Precipitação mensal e total para os anos selecionados.

Mês/Ano	1988	1996	2006	2009
Janeiro	205,6	211,1	121,1	279,3
Fevereiro	114,4	200,1	284,5	267,2
Março	180,1	214,8	79,4	111,9
Abril	183,9	53,0	72,7	41,8
Maio	246,7	32,2	31,6	76,0
Junho	59,6	13,5	21,9	108,2
Julho	0,2	8,1	29,5	243,5
Agosto	0	29,7	14,7	85,0
Setembro	50,9	174,3	158,7	212,0
Outubro	178,6	176,3	84,6	396,3
Novembro	30,7	248,9	111,6	258,1
Dezembro	120,9	296,3	243,4	254,2
Total	1371,6	1658,3	1253,7	2333,5

No ano de 1988, a recessão ocorreu entre os meses de junho a outubro (Figura 14), sendo que em 140 dias o valor da vazão final diminuiu aproximadamente 93% em relação a vazão inicial. O maior período de recessão ocorreu nesse ano. Celligoi e Santos (2001), obtiveram um valor próximo (151 dias) no aquífero Caiuá na sub-bacia hidrográfica do Rio dos Índios, no ano de 1985, para uma área de 761,5 km².

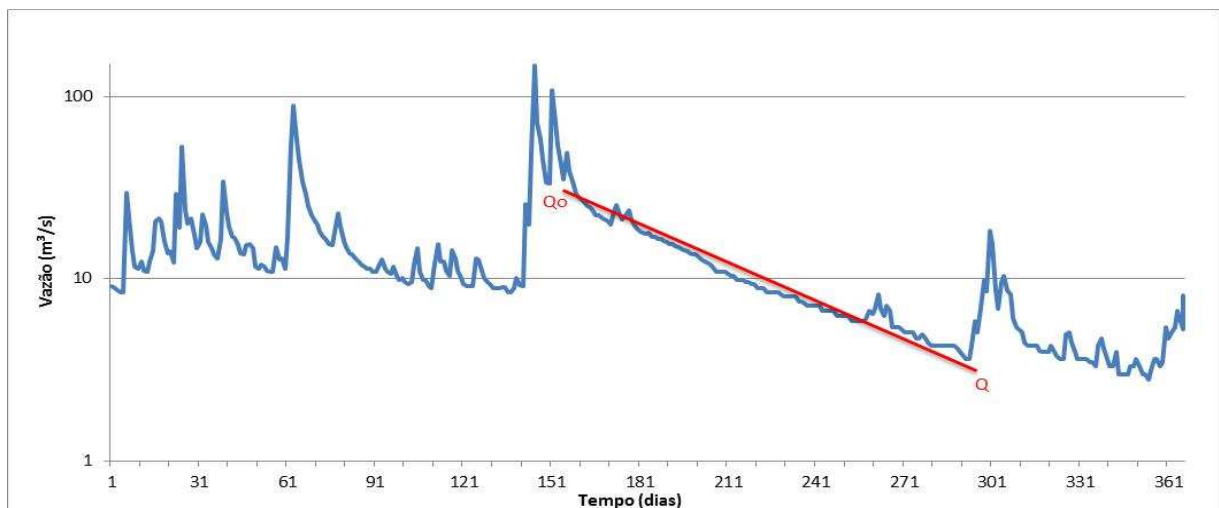


Figura 14 - Vazão diária do Rio Taquara em 1988, evidenciando o período de recessão.

Para 1996 e 2006, foi constatado que o início da recessão ocorreu em abril com término em agosto (Figura 15 e 16) para ambos os anos, sendo que em 114 e 130 dias houve uma queda da vazão inicial em relação a final de aproximadamente 88% e 89%, respectivamente.

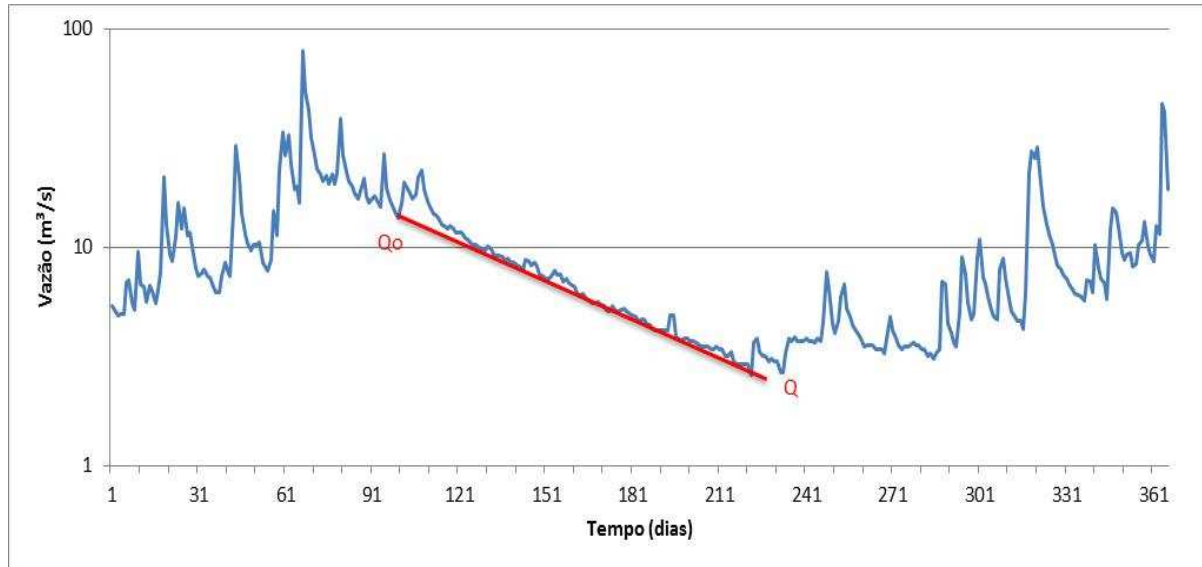


Figura 15 - Vazão diária do Rio Taquara em 1996, evidenciando o período de recessão.

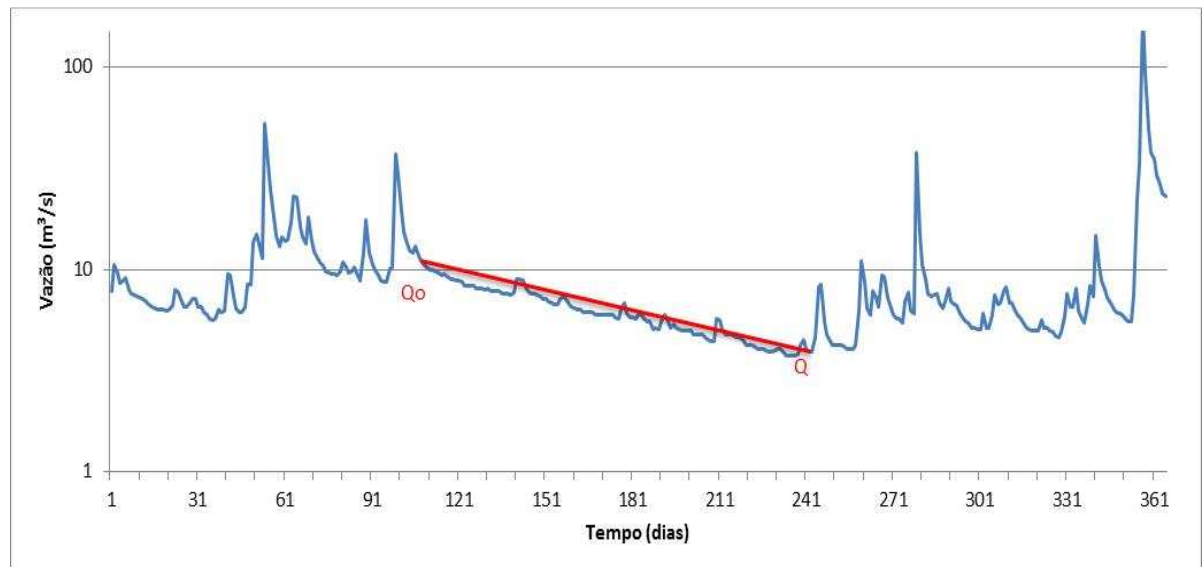


Figura 16 - Vazão diária do Rio Taquara em 2006, evidenciando o período de recessão.

A recessão entre o final de fevereiro e final de maio (Figura 17) foi verificada no ano de 2009, com uma queda menor da vazão inicial em relação a final, comparada aos outros anos de aproximadamente 52%. Esse ano apresentou o menor período de recessão, um resultado esperado, pois ele contém a maior soma das precipitações médias mensais dos meses de junho, julho e agosto, além da maior soma de precipitação anual para o período analisado.

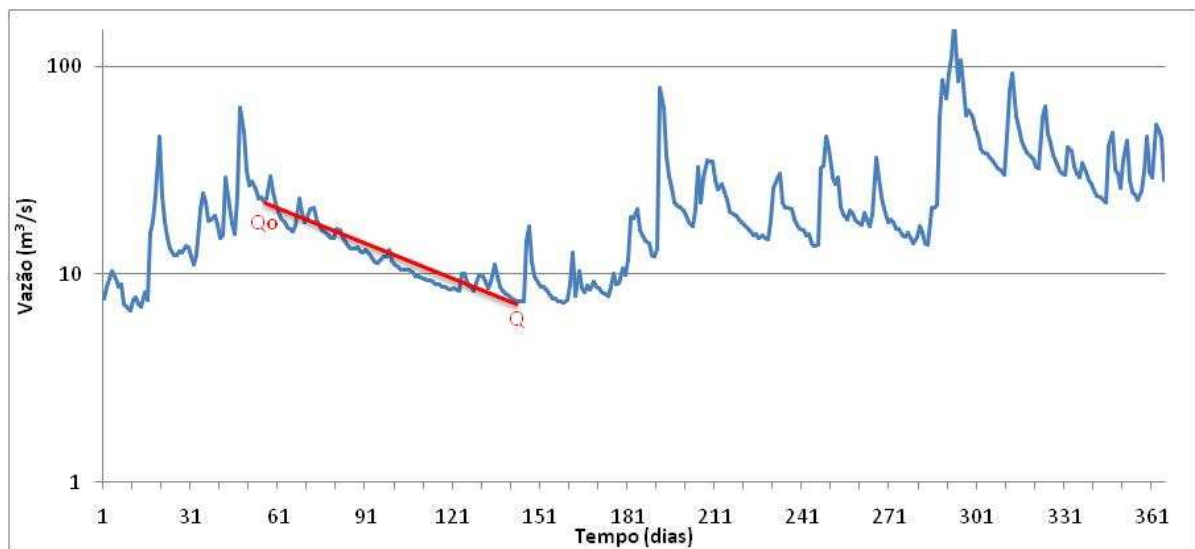


Figura 17 - Vazão diária do Rio Taquara em 2009, evidenciando o período de recessão.

As vazões iniciais e finais, o intervalo de tempo da recessão e os coeficientes da curva de recessão estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3 - Vazão (Q), intervalo de tempo entre Q e Q₀ e coeficiente de recessão (k).

Ano	Q ₀ (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	Intervalo de tempo (dias)	k
1988	53,19	3,58	140	0,01927
1996	22,72	2,61	114	0,01898
2006	37,19	3,91	130	0,01733
2009	29,92	14,48	88	0,08247

Como podem ser visualizados na Tabela 3, os resultados para o coeficiente de recessão (k) para os anos secos selecionados apresentam valores próximos, mostrando assim coesão da aplicabilidade do método, já que os valores variam de acordo com a disponibilidade hídrica anual.

O trabalho de Soares (2010) apresenta valores superiores a 0,01, através da metodologia descrita por Ponce (1989), que relaciona para sua determinação: coeficiente de recessão com transmissividade, coeficiente de armazenamento e largura do aquífero. O estudo foi realizado na bacia do ribeirão Mato Frio, mais a montante da Bacia Representativa de Juatuba, que está quase totalmente inserida no município de Itaúna (MG) e contida geologicamente no Complexo Belo Horizonte. Ainda segundo a mesma autora, os valores encontrados indicam baixa capacidade de armazenamento subterrâneo. Já para o coeficiente (k) calculado para o ano mais úmido (2009) obteve-se variação no resultado, pois o intervalo de tempo de recessão e queda de vazão tiveram valores diferentes se comparado aos anos mais secos, explicado pelo incremento da precipitação nos dias anteriores ao período analisado.

Através dos coeficientes e das vazões iniciais, os volumes contribuintes da bacia para os anos selecionados foram calculados e podem ser visualizados na Tabela 4. Esse volume, para Gonçalves, Scudino e Sobreira (2005) corresponde ao total infiltrado na bacia e armazenado, acima do nível de base.

Tabela 4 - Volume de água contribuinte para a bacia do Rio Taquara.

Ano	V (m³.10⁸/ano)
1988	2,384230
1996	1,034167
2006	1,854462
2009	3,134482

Esses volumes diferem do encontrado por Celligoi e Viana (2002) que avaliaram a reserva de água subterrânea também no SASG na região de Londrina, porém utilizando a bacia do Ribeirão Cafezal para aplicação da metodologia. Fato este explicado pela diferença entre os tamanhos das áreas de estudo, onde a bacia do Cafezal, é cerca de aproximadamente oito vezes menor que a bacia do Rio Taquara.

Novamente o ano de 2009 se destaca com um valor mais alto, demonstrando que quando há maior precipitação, o aquífero tende a armazenar maior quantidade de volume hídrico.

Com o volume contribuinte calculado e considerando a área da bacia hidrográfica do Rio Taquara, é possível estimar a restituição ou altura média da água destinada à recarga do SASG para a área de estudo. A estimativa desse valor permite

obter o percentual da restituição em relação à precipitação anual (Tabela 5). A precipitação anual para os anos de 1988, 1996, 2006 e 2009 podem ser visualizadas na Tabela 2, anteriormente citada.

Tabela 5 - Restituição da precipitação anual para os anos selecionados.

Ano	h (mm/ano)	% h
1988	291,11	15,24
1996	126,27	7,61
2006	226,43	18,06
2009	382,72	16,40

Quando comparado os anos de 1988 e 2006 (Tabela 5) ao trabalho de Celligoi e Duarte (2009), onde foi estimado as reservas reguladoras do Sistema Aquífero Caiuá através da análise das curvas de recessão do Rio das Antas, os valores obtidos pelo presente trabalho, se apresentaram próximos da restituição da precipitação anual obtida por esses autores, tanto em números absolutos (mm/ano), quanto em porcentagem. Para o Caiuá, a restituição média foi calculada para os anos de 1978 e 1979, o que representava 17% da pluviometria anual, independente do período ou total de dias de recessão.

O ano de 1996, por ter o menor volume de água contribuinte para os anos selecionados, conseqüentemente, também apresentou a menor restituição da precipitação anual. Esse valor está relativamente próximo dos 193 mm, encontrado por Celligoi e Viana (2002), que utilizaram para o cálculo da recessão o ano mais seco de determinada série histórica.

Já o ano de 2009, apresentou uma restituição próxima da calculado por Soares (2010) e um percentual próximo do estimado por Celligoi e Duarte (2009).

A partir das análises do cruzamento de dados de vazão e precipitação para o ano de 1988 (Figura 18), que foi realizado adicionando-se ao hidrograma um segundo eixo com os valores de interesse, pode-se verificar coerência dos dados obtidos (estação fluviométrica e estação meteorológica), já que a variação desses dois dados foi proporcional ao longo do período de recessão, ou seja, à medida que a precipitação aumentou ou diminuiu, a vazão do rio acompanhou a mesma variação. Os resultados do trabalho de Bertol (2007), que avaliou a recarga anual no aquífero Bauru, no município de Araguari (MG), também apresentaram essa coerência.

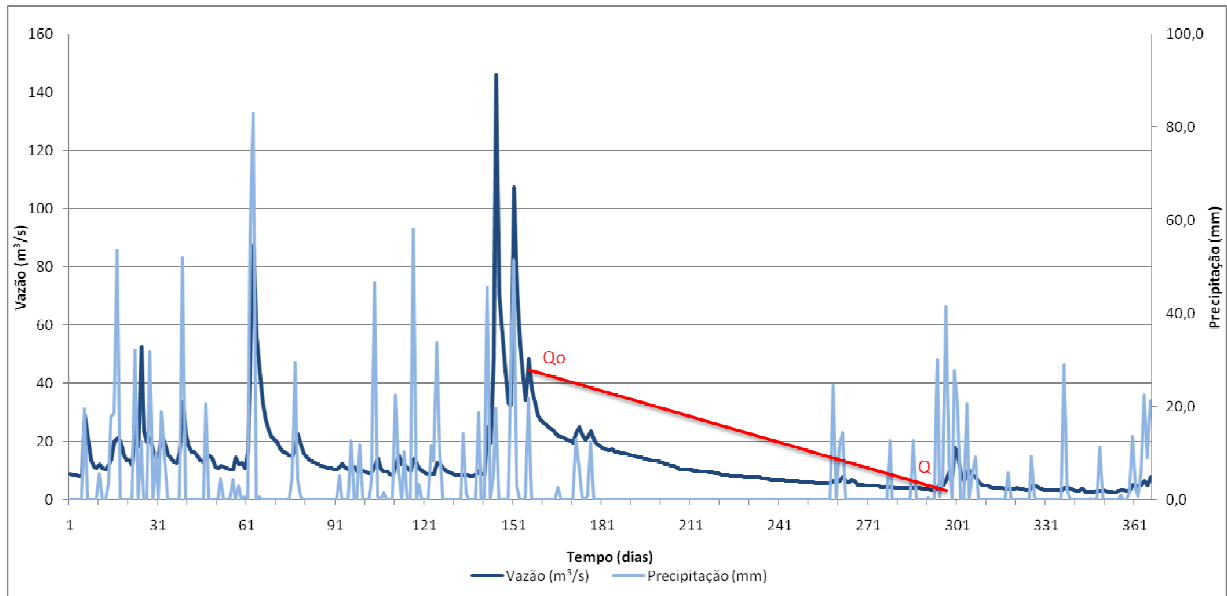


Figura 18 - Vazão e precipitação do ano de 1988.

Feitosa e Manuel Filho (2000), explicam que quando ocorre uma chuva em uma bacia hidrográfica, a hidrógrafa do rio se altera e pode admitir diversas formas, de acordo com o tamanho relativo da intensidade da chuva, da taxa de infiltração, do déficit de umidade do solo, do volume de água infiltrada, da duração da chuva e de outras características relacionadas a bacia e precipitação.

6.2 AVALIAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO

Segundo Damião et al. (2010), Thorntwaite e Mather desenvolveu o balanço hídrico climatológico para determinar o regime hídrico de um local de forma simples e rápida, sem necessitar de medidas diretas das condições do solo. Para isso, é necessário definir o armazenamento máximo no solo (Capacidade de Água Disponível - CAD), a precipitação total (P) e também a estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) em cada período, para o balanço hídrico poder estimar a evapotranspiração real (ETR), a deficiência (DEF), o excedente hídrico (EXC) e o total de água retida no solo em cada período (ARM).

As Figuras 19, 20, 21 e 22 representam a temperatura do ar e os dados pluviométricos retirados de uma série histórica da estação meteorológica do IAPAR para os anos selecionados e utilizados no balanço hídrico. A temperatura do ar se comportou de forma semelhante em todos os anos (temperaturas mais quentes durante o verão e a primavera, e mais frias durante o inverno e outono). A precipitação para os anos mais secos nos meses de junho, julho e agosto foram similares, variando no restante dos meses.

Gava (2010), explica que segundo a classificação de Köppen, o clima de Londrina é do tipo Cfa. Esse clima é subtropical úmido, com chuvas em todas as estações, podendo ocorrer secas no período de inverno, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio inferior a 18°C.

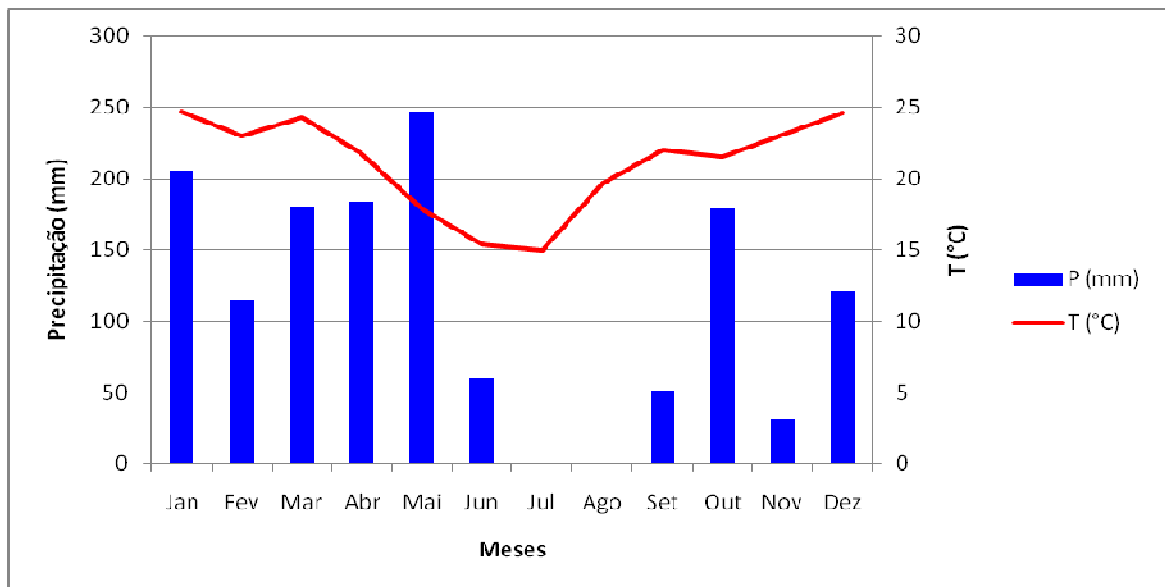


Figura 19 - Temperatura média do ar e precipitação mensal de 1988.

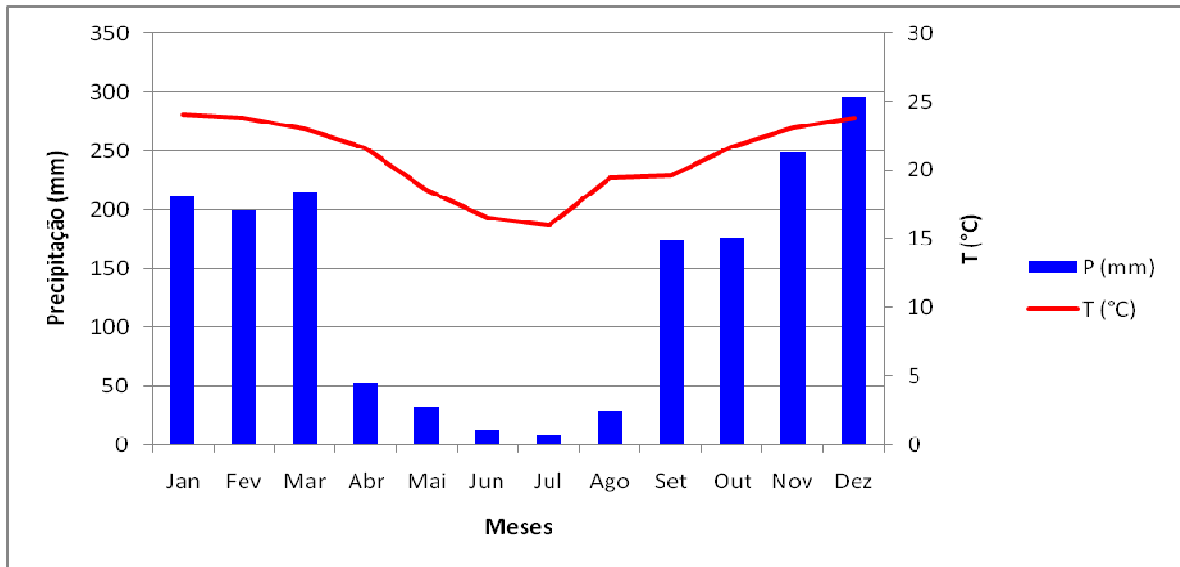


Figura 20 - Temperatura média do ar e precipitação mensal de 1996.

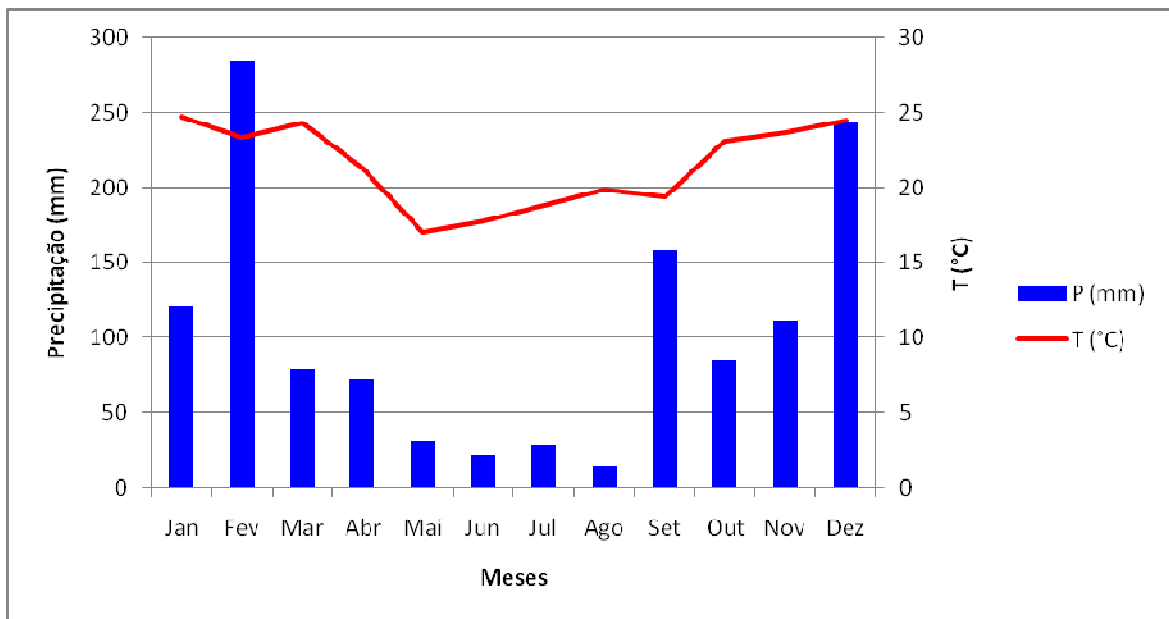


Figura 21 - Temperatura média do ar e precipitação mensal de 2006.

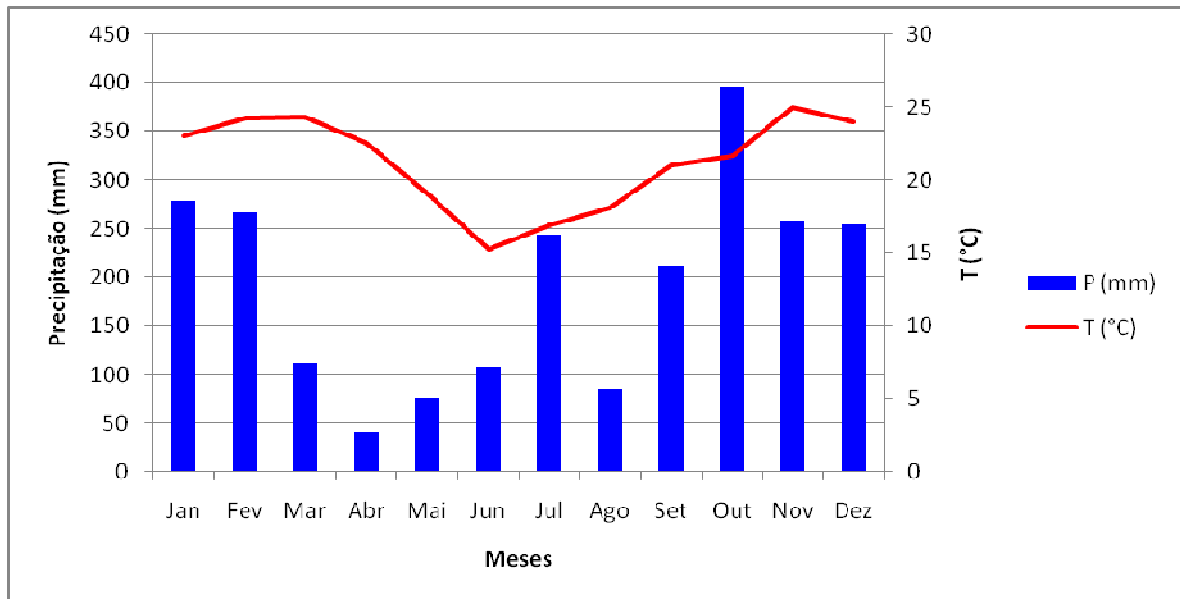


Figura 22 - Temperatura média do ar e precipitação mensal de 2009.

A disponibilidade hídrica em forma de excedentes é a consequência do confronto entre os valores de evapotranspiração e precipitação pluviométrica, ou seja, aquela quantidade que não foi evapotranspirada é quem irá abastecer as águas subterrâneas, os rios, o utilizável pelas plantas e, conseqüentemente, que está disponível para o uso humano nas mais diferentes finalidades (SANTOS, 2009).

Os valores de excedentes e as deficiências hídricas para os anos mais secos e mais úmidos estão representados na Tabela 6 e os valores de retiradas (RET) e reposição hídrica (REP) podem ser visualizados na Tabela 7.

Tabela 6 - Excedentes (EXC) e deficiências hídricas (DEF) para os anos selecionados.

Meses/Ano	1988		1996		2006		2009	
	EXC	DEF	EXC	DEF	EXC	DEF	EXC	DEF
Jan	20,3	0,0	89,4	0,0	0,0	-0,3	171,0	0,0
Fev	12,5	0,0	87,8	0,0	175,3	0,0	155,5	0,0
Mar	61,0	0,0	109,3	0,0	0,0	-6,9	0,0	-0,3
Abr	99,6	0,0	0,0	-4,3	0,0	-2,3	0,0	-13,0
Mai	194,9	0,0	0,0	-8,8	0,0	-5,3	0,0	0,0
Jun	25,9	0,0	0,0	-13,6	0,0	-12,1	49,2	0,0
Jul	0,0	-4,7	0,0	-18,8	0,0	-15,1	201,4	0,0
Ago	0,0	-29,6	0,0	-23,9	0,0	-35,8	33,7	0,0
Set	0,0	-22,7	32,3	0,0	18,5	0,0	136,7	0,0
Out	18,2	0,0	86,3	0,0	0,0	-1,6	308,0	0,0
Nov	0,0	-21,8	142,2	0,0	0,0	0,0	131,5	0,0
Dez	0,0	-5,3	173,8	0,0	97,6	0,0	131,0	0,0
Total	432,4	-84,1	721,1	-69,4	291,4	-79,4	1318,0	-13,3

Tabela 7 - Retiradas (RET) e reposição hídrica (REP) para os anos selecionados.

Meses/Ano	1988		1996		2006		2009	
	RET	REP	RET	REP	RET	REP	RET	REP
Jan	0,0	56,79	0,0	0,0	-7,2	0,0	0,0	0,0
Fev	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,2	0,0	0,0
Mar	0,0	0,0	0,0	0,0	-32,6	0,0	-7,4	0,0
Abr	0,0	0,0	-26,5	0,0	-4,3	0,0	-35,7	0,0
Mai	0,0	0,0	-16,3	0,0	-7,7	0,0	0,0	16,5
Jun	0,0	0,0	-13,6	0,0	-11,7	0,0	0,0	26,6
Jul	-27,5	0,0	-11,3	0,0	-9,5	0,0	0,0	0,0
Ago	-34,2	0,0	-9,0	0,0	-13,2	0,0	0,0	0,0
Set	-10,9	0,0	0,0	76,8	0,0	79,1	0,0	0,0
Out	0,0	72,6	0,0	0,0	-16,9	0,0	0,0	0,0
Nov	-52,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0
Dez	-4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	16,6	0,0	0,0
Total	-129,4	129,4	-76,8	76,8	-103,2	103,2	-43,1	43,1

De acordo com a avaliação do balanço hídrico executado para a área de estudo, aproximadamente 58% dos meses de 1988 (janeiro, fevereiro, março, abril, maio, junho, e outubro), apresentaram excedentes hídricos. O maior excedente ocorreu no mesmo mês em que houve a maior soma de precipitação (Tabela 2), igualmente nos outros anos selecionados, assim como no estudo que utiliza o mesmo método para o cálculo de balanço hídrico, realizado por Terassi et al. (2011) no município de Assaí-PR no período de 1966 a 2009.

Entre todos os anos selecionados para o presente estudo, 1988 obteve a maior deficiência e retirada hídrica. Foi constatado que as retiradas hídricas ocorreram em períodos de maiores déficits hídricos (julho a setembro, novembro e dezembro), já que esses meses apresentam a soma das menores precipitações anuais, característica climática essa pertencente a região de Londrina e norte do estado do Paraná.

Ainda para o ano de 1988, a reposição hídrica aconteceu em janeiro (referente ao déficit de novembro e dezembro do ano anterior) e no mês de outubro (referente ao déficit de julho, agosto e setembro), meses que também apresentaram, segundo o balanço, excedentes hídricos (Figuras 23 e 24).

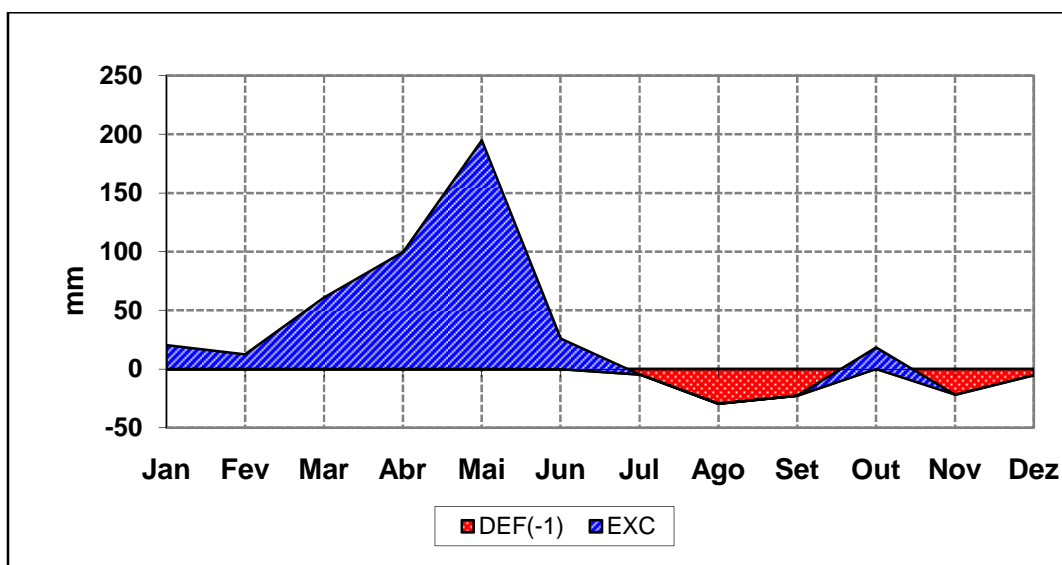


Figura 23 - Extrato do balanço hídrico mensal 1988.

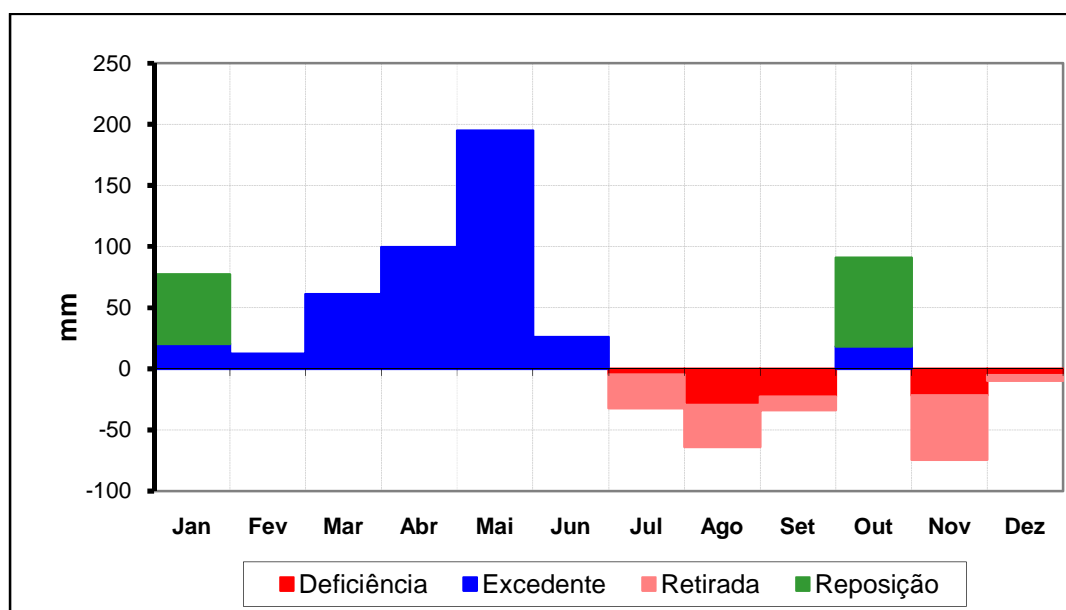


Figura 24 - Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica do ano de 1988.

Semelhante ao que ocorreu em 1988, o ano de 1996 apresentou 58% de seus meses com excedentes hídricos, mas diferenciando-se com relação aos meses, nesse último, os excedentes observados ocorreram entre janeiro e março, e entre setembro e dezembro. Entre os anos mais secos selecionados, 1996 foi o que apresentou o menor valor de deficiência e o maior valor de excedente, de acordo com o balanço hídrico

executado. As retiradas foram identificadas para os mesmos meses que os déficits hídricos, assim como observado para o ano de 1988.

A totalidade da retirada hídrica, que ocorreu nos meses de abril a agosto para o ano de 1996, foi reposta no mês de setembro do mesmo ano, assim como foi identificado no trabalho de Terassi et al. (2011) (Figuras 25 e 26).

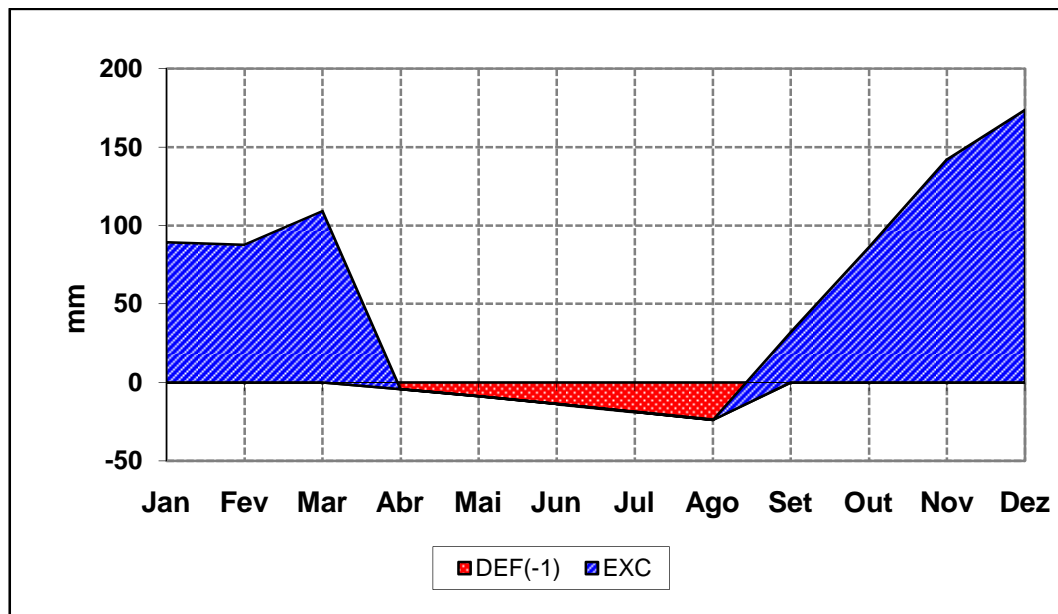


Figura 25 - Extrato do balanço hídrico mensal 1996.

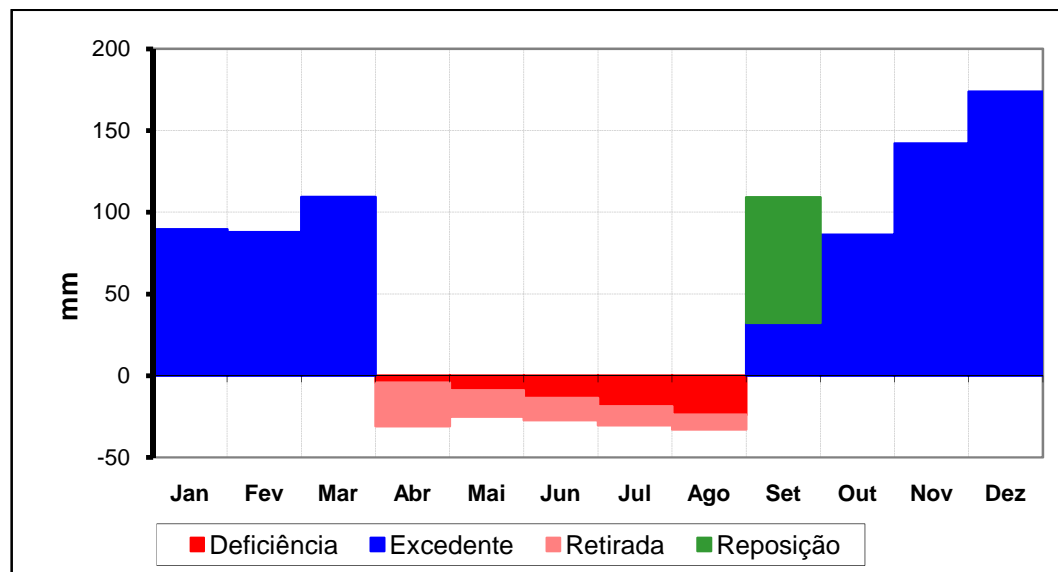


Figura 26 - Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica do ano de 1996.

O ano de 2006 teve o menor excedente hídrico para os anos selecionados, com valor total abaixo de 400 mm anuais (Tabela 6), resultado constatado no trabalho de Terassi, Alves e Graça (2012) para o município de Londrina nos anos de 1977 a 2009 (Figura 27).

De acordo com o balanço hídrico executado para a área de estudo, o mês de novembro apresentou equilíbrio entre excedentes, deficiências e retiradas hídricas (Figura 28).

A retirada hídrica para o ano 2006 ocorreu em oito meses (janeiro, março a agosto e outubro), ocorrendo a reposição no restante dos meses do ano (fevereiro, setembro, novembro e dezembro).

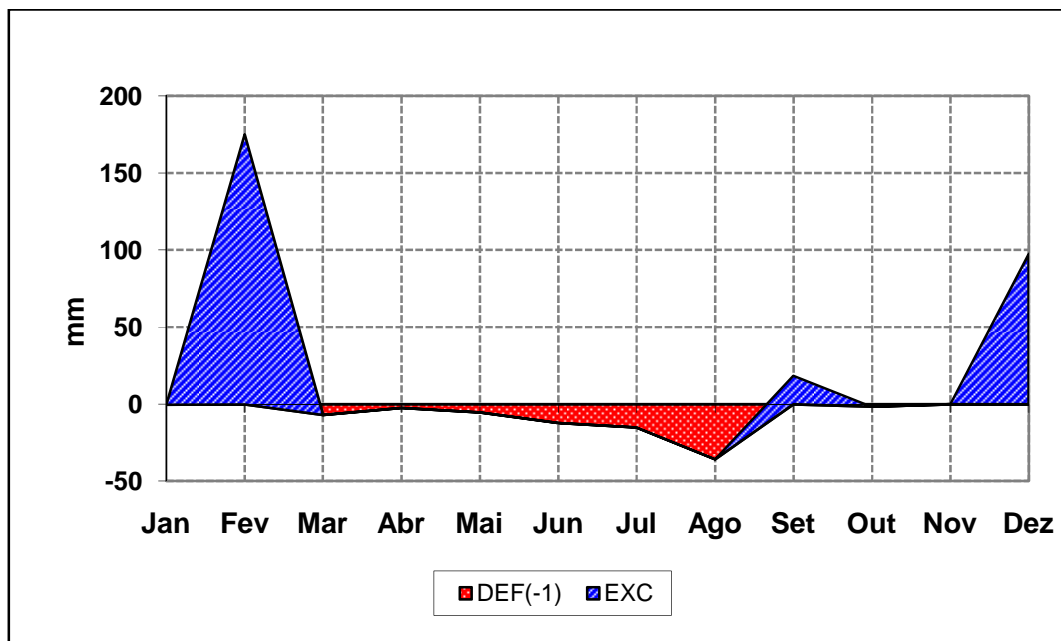


Figura 27 - Extrato do balanço hídrico mensal 2006.

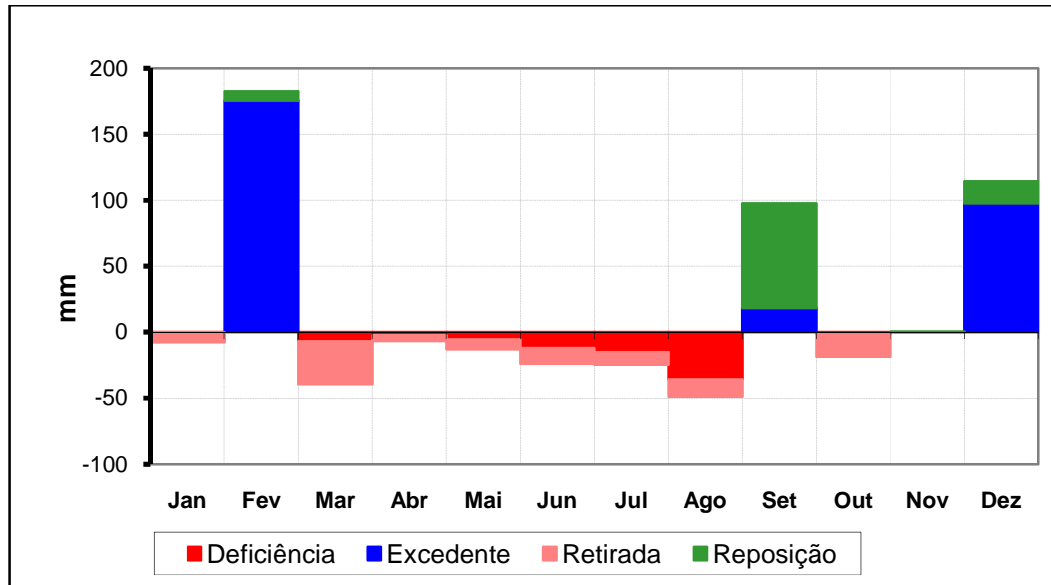


Figura 28 - Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica do ano de 2006.

Constatou-se a partir do balanço hídrico, que o ano de 2009 teve deficiências e retiradas hídricas somente nos meses de março e abril, ou seja, aproximadamente 17% do total dos meses. Esse ano apresentou o maior excedente hídrico, com valor superior a 1000 mm, assim como o resultado obtido por Terassi, Alves e Graça (2012) em seu artigo. A reposição hídrica ocorreu nos meses de maio e junho, em resposta ao déficit dos meses de março e abril (Figuras 29 e 30).

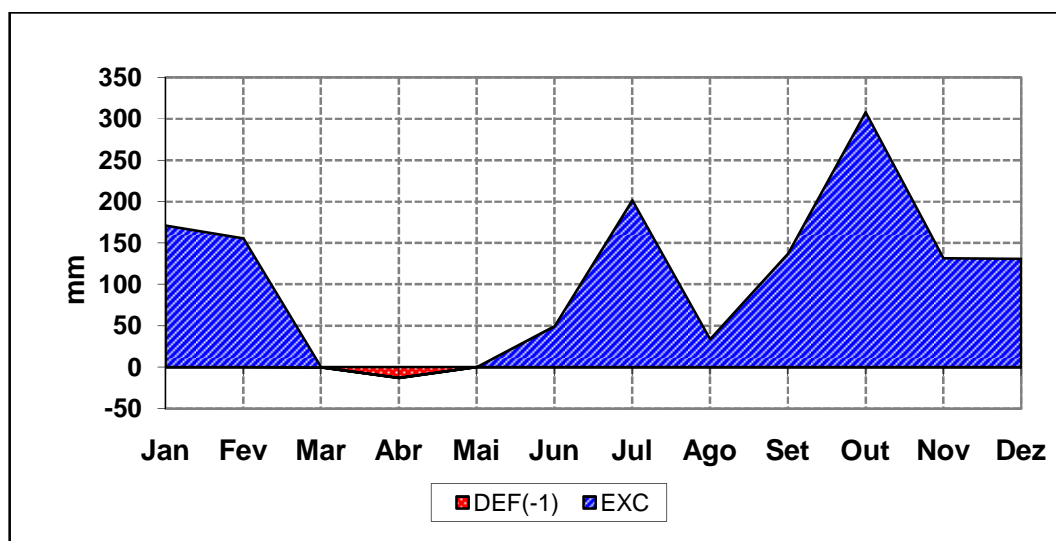


Figura 29 - Extrato do balanço hídrico mensal 2009.

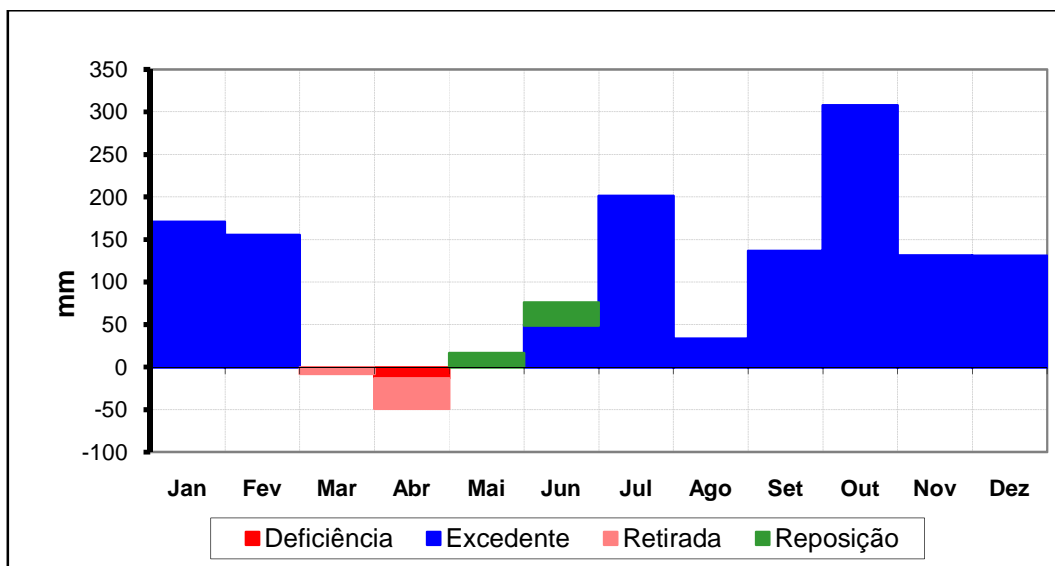


Figura 30 - Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica do ano de 2009.

Quando a precipitação é inferior a evapotranspiração real (déficit hídrico), o solo passa a utilizar a capacidade de água disponível (CAD) para fornecer umidade para a atmosfera, tornando o armazenamento mensal inferior ao CAD (BARRETO et al., 2006), como demonstra a Figura 31. O CAD utilizado foi de 100 mm, como descrito na metodologia.

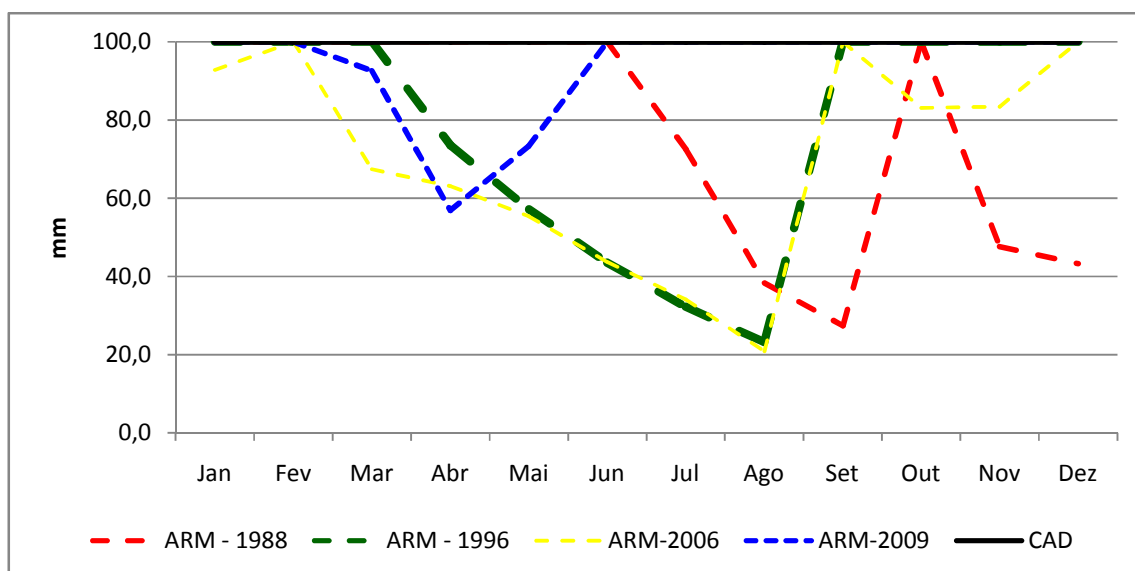


Figura 31 - Capacidade de água disponível (CAD) e total de água retida no solo em cada período (ARM) mensal de 1988, 1996, 2006 e 2009.

O balanço hídrico para a região de Londrina determinou que o armazenamento dos anos mais secos coincide com os meses de retirada hídrica. Já para o ano mais úmido, o armazenamento foi inferior ao CAD nos meses de março, abril e maio, sendo que em maio apresentou reposição hídrica.

6.3 CURVA DE RECESSÃO E BALANÇO HÍDRICO

6.3.1 Excedente hídrico e restituição

Analisando a relação entre o excedente hídrico total com a restituição anual pluviométrica (Figura 32), permitiu-se determinar o percentual total de excedente hídrico que alcançou o SASG na área de estudo no período de recessão, ou seja, a quantidade de água subterrânea que alimentou o fluxo de base do Rio Taquara nos anos selecionados para o estudo.

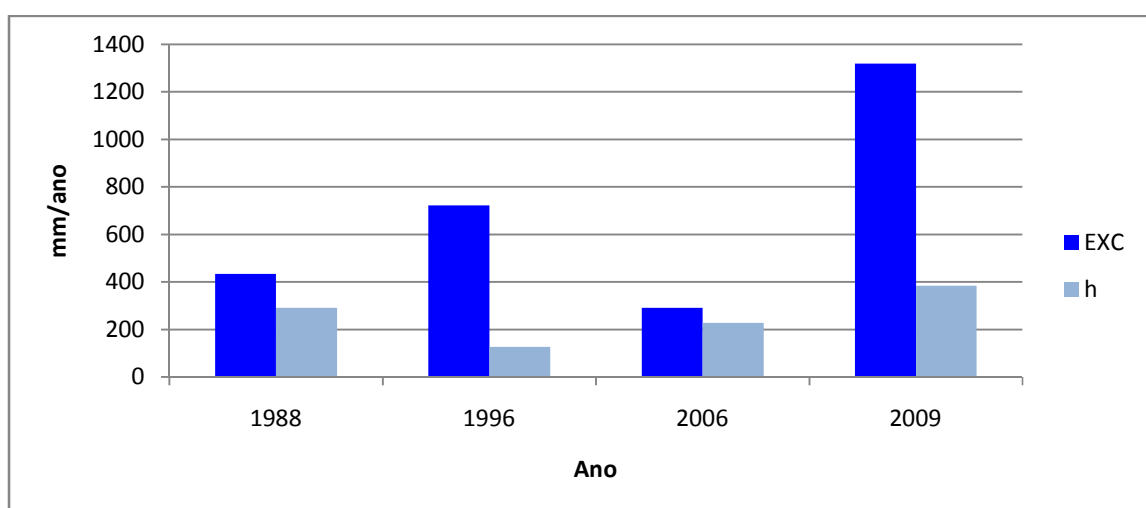


Figura 32 - Excedente hídrico anual (EXC) e restituição pluviométrica anual (h).

O maior valor encontrado foi para o ano de 2006 e o menor foi em 1996. Esses dois casos assemelham-se com o ocorrido no percentual da restituição em relação à pluviometria anual (Tabela 8).

Tabela 8 - Percentual do excedente (EXC) e da restituição (h) que atingiu o aquífero no período de recessão.

Ano	% EXC	% h
1988	67,32	15,24
1996	17,51	7,61
2006	77,70	18,06
2009	29,04	16,40

6.3.2 Período da curva de recessão, déficit e retirada hídrica

Em 1988, a recessão ocorreu de junho a outubro, sendo que em três desses meses houve déficit (DEF) e retirada hídrica (RET). No ano de 1996 e 2006, todo período de recessão apresentou déficit e retirada hídrica. Em 2009, a recessão foi do final de fevereiro a final de maio, coincidindo com os únicos dois meses de déficit e retirada hídrica desse ano (Quadro 1).

1988	1996	2006	2009
<p>• Recessão</p> <ul style="list-style-type: none"> • junho a outubro 	<p>• Recessão</p> <ul style="list-style-type: none"> • abril a agosto 	<p>• Recessão</p> <ul style="list-style-type: none"> • abril a agosto 	<p>• Recessão</p> <ul style="list-style-type: none"> • fevereiro a maio
<p>• DEF e RET</p> <ul style="list-style-type: none"> • julho a setembro, novembro e dezembro 	<p>• DEF e RET</p> <ul style="list-style-type: none"> • abril a agosto 	<p>• DEF e RET</p> <ul style="list-style-type: none"> • janeiro, março a agosto e outubro 	<p>• DEF e RET</p> <ul style="list-style-type: none"> • março e abril

Quadro 1 - Período da curva de recessão, déficit e retirada hídrica dos anos selecionados.

6.3.3 Volume e reposição hídrica

Avaliando os três anos mais secos, é possível estabelecer uma relação de que quanto maior a reposição hídrica, maior foi o volume de água contribuinte, ou seja, é a quantidade de água que entra quem irá influenciar o volume de água contribuinte. O ano de 2009 foi o mais chuvoso, podendo assim armazenar uma maior quantidade de água do que todos os outros anos, independente de ter tido a menor reposição, o que significa que também apresentou o menor déficit (Tabela 9).

Tabela 9 - Volume de água contribuinte (V) e reposição hídrica (REP) dos anos selecionados.

Ano	V ($m^3 \cdot 10^8$ /ano)	REP
1988	2,384230	129,43
1996	1,034167	76,82
2006	1,854462	103,25
2009	3,134482	43,16

6.3.4 Coeficiente de recessão e excedente hídrico

Os resultados do presente trabalho para os anos de 2006 e 2009, demonstraram outra importante relação entre o balanço hídrico e as recargas aquíferas, uma vez identificado que quanto menor o coeficiente de recessão, menor será o excedente hídrico (Tabela 10). Segundo Custodio e Llamas (1976), esse *coeficiente “indica a taxa de produção do fluxo de base, que é constituído pelo percentual de vazão de um rio mantido pela restituição de águas subterrâneas”*. Desse modo, em outras palavras, se há pouco excedente hídrico, a taxa de produção do fluxo de base tende a diminuir.

Tabela 10 - Coeficiente de recessão (k) e excedente hídrico (EXC).

Ano	k	EXC
1988	0,01927	432,4
1996	0,01898	721,2
2006	0,01733	291,4
2009	0,08247	1318,0

6.3.5 Total de água retida no solo e volume

Era esperado que houvesse uma relação de proporcionalidade entre a água retida no solo (ARM) e o volume de água contribuinte. Porém, não foi isso que os resultados encontrados demonstraram, exceto para o ano de 2009 (Tabela 11).

Tabela 11 - Volume de água contribuinte (V) e total de água retida no solo (ARM).

Ano	V (m³.10⁸/ano)	ARM
1988	2,38423	929,0
1996	1,034167	929,6
2006	1,854462	843,64
2009	3,134482	1122,75

A maior quantidade de água retida no solo ocorreu em 2009, que também apresentou o maior volume de água contribuinte. Nos anos mais secos não houve essa relação de proporcionalidade, pois a quantidade de água infiltrada também pode depender de diversos fatores de ordem física, além da relação da intensidade das chuvas que atingiram a bacia nos meses mais úmidos. Chuvas mais intensas proporcionam rápida saturação dos microporos dos solos (capacidade de campo) nas áreas de recarga, diminuindo assim o volume de água contribuinte para o fluxo de base, aumentando o escoamento superficial.

Estudos futuros devem ser executados para melhor compreensão desses processos.

7 CONCLUSÃO

Avaliar a disponibilidade hídrica de um aquífero significa obter informações em relação a sua quantidade de água disponível (em volume) e em relação a sua quantidade de água que é restituída através das chuvas. Dessa maneira, o presente estudo demonstrou que o SASG, apresenta um volume de água significativo, que se explorado corretamente, não causará impactos aos recursos hídricos no domínio das bacias hidrográficas e poderá continuar, e até mesmo expandir, a sua exploração para o abastecimento público e particular da população de Londrina e região.

Outras conclusões podem ser elencadas, como a observação de que o ano de 1988 apresentou o maior período de recessão, deficiência e retirada hídrica. Já no ano de 1996 ocorreu o menor volume de água contribuinte e restituição da precipitação anual. O ano de 2006 possuiu a menor precipitação anual, coeficiente de recessão e excedente hídrico. Por fim, o ano de 2009, que obteve o menor período de recessão se destacou na precipitação anual, volume de água contribuinte, coeficiente de recessão, restituição e excedente hídrico, com os maiores valores.

Diante dos resultados foi possível constatar que a precipitação tem influência no fluxo de base do Rio Taquara, além de proporcionar variações no excedente hídrico e na recarga do sistema aquífero na área de estudo ao longo dos anos analisados.

Constatou-se que o excedente hídrico influencia, na maioria das vezes, a reposição hídrica. Assim, quanto mais úmido for um ano, maior a quantidade de água que será armazenada pelo aquífero. Os resultados mostraram que nos anos mais secos, quanto maior a reposição hídrica, maior foi o volume de água contribuinte.

O percentual de excedente hídrico que alcança um aquífero no período de recessão pode ter vínculo com o percentual da restituição em relação à pluviometria anual. Os déficits e retiradas hídricas são constantes no período de recessão, sendo que nos meses em que há retiradas também há armazenamento de água no solo.

Esse estudo permitiu avaliar a potencialidade hídrica do SASG na região de Londrina de forma eficaz. É possível continuar o estudo da região com tipos de dados

diferentes dos utilizados, para comparar esse método com outros, a fim de aprimorar os resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

ABERS, Rebecca; KECK, Margaret. Comitês de Bacia no Brasil: uma abordagem política no estudo da participação social. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 6, n. 1, p. 55-68, mai. 2004.

ALMEIDA, Rodrigo M. R. de; FILHO, Décio T. Avaliação da disponibilidade hídrica subterrânea da Bacia do Rio Macacu utilizando o histórico das vazões da Estação 59235000-Macacu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16 e ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 17., 2010, São Luís. **Anais Eletrônicos...** São Luís: ABAS, 2010. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23158/15273>>. Acesso em: 15 jan.2013.

ANDRADE, José Célio, S.; MARINHO, Márcia Mara de O.; KIPERSTOK, Asher. Uma política nacional de meio ambiente focada na produção limpa: elementos para discussão. **Bahia Análise & Dados**, v. 10, n. 4, p. 326-332, mar. 2001.

ATHAYDE, Gustavo B.; Müller, Camila de V.; Filho, Ernani F. da .; Hindi, Eduardo Chemas. Estudo sobre os tipos das águas do Aquífero Serra Geral no município de Marechal Cândido Rondon-PR. **Águas Subterrâneas**, v.21, n.1, p. 111-122, 2007.

BARBOSA, Ana Maria; FILL, Heinz D. Modelo de Previsão de Vazão Baseado no Hidrograma Unitário. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n.4, p. 165-174, out/dez 2001.

BARRETO, Carlos Eduardo A. G. **Balço hídrico em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa**. 2006. 249 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2006. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/.../exemplar_final.pdf>. Acesso em:28 dez.2012.

BARRETO, Naurinete de J. da C.; SOUZ, André L. L. de; CASAGRANDE, Fernanda; LUCAS, Edmundo W. M. Influência dos Fenômenos El Niño/La Niña no Balanço Hídrico do Município de Jacareacanga-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais Eletrônicos...** Florianópolis: CBMET, 2006. Disponível em: < <http://www.cbmet.com/cbm-files/14-8c2a71194b7b73d06f14d5a698e084d0.pdf>>. Acesso em: 18.jul.2013.

BERTOL, Gisele A. **Avaliação da Recarga anual no Aquífero Bauru no município de Araguari, Minas Gerais**. 2007. 101 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Econômica e Aplicada). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MPBB-74MN3Y/dissertacaogisele.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 15.jul.2013.

CARVALHO, Silvia M.; STIPP, Nilza A. F. Contribuição ao estudo do balanço hídrico no estado do Paraná: uma proposta de classificação qualitativa. **Geografia – Londrina**, v. 13, n.1, p.57-71., jan/junho.2004.

CAVALCANTE, Itabaraci N.; DIAS, Francisco W. C.; SOUSA, Virginia P. de.; GOMES, Maria da C. R.; MATTA, Milton A. da S. Qualidade das águas subterrâneas do município de Pacajus, Região Metropolitana de Fortaleza-Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15., 2008, Natal. **Anais Eletrônicos...** Natal: ABAS, 2008. Disponível em: < <http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23820/15886> >. Acesso em: 15 jan.2013.

CELLIGOI, André. **Hidrogeologia da Formação Caiuá no Estado do Paraná**. 2000. 95 f. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

CELLIGOI, André; DUARTE, Uriel. Determinação da Reserva Reguladora do Aquífero Caiuá no Estado do Paraná utilizando as curvas de recessão no Rio das Antas. **Águas Subterrâneas**, v.23, n.1, p.13-20, 2009.

CELLIGOI, André; SANTOS, Maurício M. dos. Avaliação das Reservas Subterrâneas do Aquífero Caiuá na Sub-Bacia do Rio dos Índios - PR. **Geografia - Londrina**, v. 10, n. 2, p. 257-269, jul./dez. 2001.

CELLIGOI, André; VIANA, Thiago R. Análise das reservas de águas subterrâneas do Aquífero Serra Geral em Londrina: Recarga e Consumo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS 12. , 2002, Florianópolis. **Anais Eletrônicos...** Florianópolis: ABAS, 2002. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22693/14895>>. Acesso em: 24 jan.2013.

COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Plano de Gestão Participativa dos Aquíferos da Bacia Pontiguar, Estado do Ceará.** 2009. Disponível em: <<http://portal.cogerh.com.br/eixos-de-atuacao/estudos-e-.../Bacia.../file>>. Acesso em: 26.jul.2013.

COSTA, Waldir D. Avaliação de reservas, potencialidade e disponibilidade de Aquíferos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10., 1998, São Paulo. **Anais Eletrônicos...** São Paulo: ABAS, 1998. Disponível em: <aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/.../14619>. Acesso em: 21 jan.2013.

CUSTODIO, Emilio, LIAMAS, Manuel R. **Hidrologia subterrânea.** v. 2. Barcelona: Ediciones Omega S.A., 1976.

DAMIÃO, Juliana de O.; HERNANDEZ, Fernando B. T.; OLIVEIRA, Gilmar S.; ZOCOLER, João L. Balanço hídrico da região de Ilha Solteira, Noroeste Paulista. IN: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 20., 2010, Uberaba. **Anais Eletrônicos...** Uberaba: CONIRD, 2006. Disponível em: <http://falcao.feis.unesp.br/agr/pdf/conird2010_damiao.pdf>. Acesso em: 15.jul.2013.

EZAKI, Sibeles; IRITANI, Mara A. **As águas subterrâneas do estado de São Paulo.** São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2008.

FEITOSA, Fernando A. C.; MANUEL FILHO, João. (Coordenadores). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** 2. ed. Fortaleza: CPRM, 2000.

FONSECA, Alberto de F. C.; PRADO FILHO, José F. de. Um Importante Episódio na História da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil : O Controle da Coroa Portuguesa Sobre o Uso da Água nas Minas de Ouro Coloniais. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n.3, p. 5-14, jul/set 2006.

GAVA, Ricardo. **Evaporação da água do solo sob diferentes taxas de cobertura com resíduos vegetais**. 2010. 62 f. Dissertação (Mestrado em agronomia). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

GONÇALVES, José Augusto C.; SCUDINO, Paulo C. B.; SOBREIRA, Frederico G. Reservas Renováveis e Caracterização dos Aquíferos Fissurais do Leste da Zona da Mata de Minas Gerais e Adjacências. **Revista do Instituto de Geociências - USP**, v. 5, n. 1, p. 19-27, jun. 2005.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter L. de. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. 1. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2006.

Instituto das águas do Paraná. **Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi**. Módulo 1 – Diagnóstico. Módulo 2 – Iniciativas em andamento da bacia. 2009. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/TIBAGI/Diagnostico_BHT-Versao_Final.pdf>. Acesso em: 10.jul.2013.

_____. **Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos**, 2010. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/PLERH/Produto1_2_ParteB_RevisaoFinal.pdf>. Acesso em: 15 jan.2013.

_____. **Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. 2012. Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=203>>. Acesso em: 19 dez.2012.

_____. **Unidades Aquíferas do Paraná**. 2012. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/DADOS%20ESPACIAIS/Unidades_Aquiferas_A4.pdf>. Acesso em: 19 dez.2012.

ITCG - Instituto de Terras, Cartografia e Geociências. **Hidrografia do Estado do Paraná**. Material Vetorizado com base nas Cartas Topográficas na escala de 1:250.000. 2013. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=47>>. Acesso em: 28 jul. 2013.

KLERING, Eliana V., LOPES, Fábio Z., FILHO, José H. de O., CHAPA, Srinivasa R. Análise da variabilidade do balanço hídrico para Pelotas-RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais Eletrônicos...** Fortaleza: CBMET, 2004. Disponível em: < www.cbmet.com/cbm.../22-c938c6d1a2711b262ce8a3d7fa857146.doc>. Acesso em: 20.jul.2013.

MAGALHÃES JÚNIOR, Antônio P. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa.** 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

MELO, José G. de.; STEIN, Paula; VASCONCELOS, Mickaelon B.; SILVA, Fabio H. R. da. Fatores condicionantes na recarga do Aquífero Açú na borda sudoeste da Bacia Pontiguar (RN). **Águas Subterrâneas**, v. 19, n.2, p. 105-122, 2005.

MENDES, Ester A. A.; NAKANDAKARE, Kátia C.; SOUZA, Adalberto M.; FERNANDES, Aldo M. P.; SILVEIRA, Erivelto L.; FELTRIN, Jurema; GUARDA, Marcos J. Mananciais subterrâneos no estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., 2002, Florianópolis. **Anais Eletrônicos...** Florianópolis: ABAS, 2002. Disponível em: < <http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22845/14995> >. Acesso em: 17 jan.2013.

MILANI, Edilson J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental.** 1997. 255 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre , 1997.

MINEROPAR – Serviço Geológico do Paraná. **Mapa geológico do Estado do Paraná na escala de 1:250.000.** MME / DNPM / Gov. do Estado do Paraná. Curitiba - PR, 2001.

MOCELLIN, Roderlei C.; FERREIRA, Francisco J. F. Conectividade e compartimentação dos sistemas aquíferos Serra Geral e Guarani no sudoeste do estado do Paraná , Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 39, n. 3, p. 567-579, 2009.

MONTEIRO Raimundo N. F.; ANDRADE JUNIOR, Anderson S. de; LEITE, Kelly N.; SILVA, Alexandre O. da; BRITO, Ramilos R. de. Balanço hídrico climatológico e classificação climática de Thornthwaite para o município de Groaíras-CE. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 21., 2011, Petrolina. **Anais Eletrônicos...** Petrolina: CONIRD, 2011. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/50841/1/1009.pdf>>. Acesso em: 26.jul.2013.

NÓBREGA, Neri E. F. da; SILVA, José G. F. da; RAMOS, Hugo E. dos A.; PAGUN, Franklim dos S. Balanço hídrico climatológico e classificação climática de Thornthwaite e Köppen para o município de Linhares - ES. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 18., 2008, São Mateus. **Anais eletrônicos...** São Mateus: CONIRD, 2008. Disponível em: <http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/arquivos_pdf/publicacoes/CONIRD/1567_linhares.pdf>. Acesso em: 26.jul.2013

OLEAGA, Alejandro; PACHECO, Fernando; FELLER, Moshe. **Aquífero Guarani: Determinação de Perímetros de Proteção de Poços e Vulnerabilidade e Risco de Contaminação de Aquíferos.** Séries Manuais e Documentos Técnicos do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani, 2009.

PARALTA, Eduardo A.; OLIVEIRA, Manoel M.; LUBCZYNSKI, Maciek W.; RIBEIRO, Luís F. Avaliação da recarga do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja segundo critérios múltiplos - Disponibilidade hídricas e Implicações agro-ambientais. In: SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 6., 2003. República de Cabo Verde. **Anais Eletrônicos...** República de Cabo Verde: 2003.

PEREIRA, Dilma S. P.; JOHNSON, Rosa Maria F. Descentralização da gestão dos recursos hídricos em bacias nacionais no Brasil. **REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 2, n. 1, p. 53-72, jan/jun. 2005.

PORTO, Mônica F. A.; PORTO, Rubem L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

PONCE, Victor M. Research and Development. Baseflow Augmentation by Streambank Storage. **Environment, Health, and Safety**. San Diego: San Diego State University. Report 009.4-89.13.1989. 88 p. Disponível em: <<http://www.feather-river-crm.org/pdf/baseflow.pdf>> Acesso em: 22.jul.2013.

REBOUÇAS, Aldo da C. A Política Nacional de Recursos Hídricos e as Águas Subterrâneas. **Águas Subterrâneas**, n.16, p. 1-13, mai.2002.

ROLIM, Glauco S.; SENTELHAS, Paulo C.; BARBIERI, Valter. Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, n. 1, p.133-137, 1998.

ROSA FILHO, Ernani F. Caracterização da depleção de um aquífero através do coeficiente de descarga, α , de Maillet. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 41, p. 125-144, 1993.

SANTOS, Alexandre R. dos. **Apostila de Climatologia**. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES. Centro de Ciências Humanas e Naturais - CCHN. Departamento de Geografia. 2002. Disponível em: <<http://www.mundogeomatica.com.br/CL/ApostilaTeoricaCL/Capitulo10-BalancoHidrico.pdf>>. Acesso em: 27.jul.2013.

SANTOS, Maurício M. dos. **Gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos: uso atual e potencial do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo (SP)**. 2009. 206 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

SETTI, Arnaldo A.; LIMA, Jorge E. F. W.; CHAVES, Adriana G. de M.; PEREIRA, Isabella de C. **Introdução ao gerenciamento de Recursos Hídricos**. 2. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2001.

STIPP, Nilza A. F.; CAMPOS, Ricardo A.; CAVIGLIONE, João H. Análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Taquara – Uma contribuição para o estudo das ciências ambientais. **Portal da cartografia**, v.3, n.1, p.105-124, 2010.

SOARES, Rossana C. V. **Caracterização do fluxo subterrâneo das águas na porção Sudoeste da Bacia representativa de Juatuba**. 2010. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

TEIXEIRA, Wilson; CAMPOS, Antônio C. R.; RICCOMINI, Cláudio; BETTENCOURT, Jorge S.; CORDANI, Umberto G. (Org.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2000.

TERASSI, Paulo M. de B.; GRAÇA, Carlos H. da; STIVARI, Sônia M. S.; SILVEIRA, Hélio; MARTINS, Maria de L. O. Balanço hídrico e classificação climática como subsídio ao planejamento das atividades agrícolas para o município de Assaí-PR. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA , 17., 2011, Guarapari. **Anais Eletrônicos...** Guarapari: CBA, 2011. Disponível em: <<http://sitecanal8.com/meteorologia/images/balano%20hdrico%20e%20classificao%20climtica%20com%20subsdiio%20ao%20planejamento%20das%20atividades%20agricolas%20no%20municpio%20de%20assa-pr.pdf>>. Acesso em: 10.jul.2013.

TERASSI, Paulo M. de B.; ALVES, Fabio C.; GRAÇA, Carlos H. da. Disponibilidade hídrica e classificação climática para o município de Londrina-PR. **Revista Geonorte**, Edição especial, v.2,n.4, p.818-829, 2012.

TREMOCOLDI, Wanderley A.; BRUNINI, Orivaldo. **Caracterização Agroclimática das unidades da secretaria de agricultura e abastecimento do Estado de São Paulo: Capão Bonito e região**. Instituto Agrônomo (IAC). Campinas, 2008. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/porassunto/pdf/BT%20online%20-%20205.pdf>>. Acesso em: 26.jul.2013.

THORNTHWAITE, Charles W.; MATHER, John R. The water balance. **Drexel Institute of Technology**, v.8, 104 p., 1955.

TUNDISI, José G. Ciclo Hidrológico e Gerenciamento Integrado. **Ciência e Cultura**, v.55, n. 4, p. 31-33, jan.2003.

USGS: Cience for a changing world. **O ciclo da água**. Disponível em: <<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.html>>. Acesso em: 10 jan. 2013.

VARGAS, Marcelo C. O gerenciamento integrado dos recursos hídricos como problema socioambiental. **Ambiente & Sociedade**, n.5, p. 27, dez.1999.