



## IDENTIFICAÇÃO DAS ZONAS DE RECARGA E CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS FREÁTICOS DE IPORÁ – GO

Flávio Alves de Sousa

(Universidade Estadual de Goiás, Departamento de Geografia – Unidade Iporá,  
flaueg@hotmail.com)

**Resumo** – Neste trabalho foram mapeadas as áreas de recarga do lençol freático no município de Iporá, bem como as características como litologia, tipo de solos e ocupação das terras. Foi desenvolvido por meio de diversas frentes, como: mapeamento e identificação das áreas de recarga, atividades que necessitaram da utilização de imagem de satélite e uso de software de geoprocessamento; caracterização dos tipos de solos relacionados às zonas de recarga; medição da condutividade hidráulica dos solos nas zonas de recarga; caracterização do sistema freático e utilização de cálculos para estimativa de recarga, reserva permanente e reserva explotável, para tal, utilizou-se a metodologia da hidrogeologia. Como resultado foram identificados dois sistemas freáticos: aquífero fraturado e de dupla porosidade, sendo o de dupla porosidade desenvolvido em formações sedimentares como Furnas, Ponta Grossa e Aquidauana e o fraturado sobre rochas cristalinas como granitos e gnaisses, além de rochas alcalinas como gabros e piroxenitos. Os aquíferos apresentaram reservas estimadas baixas devido ao tipo de estrutura geológica predominante no município, constituída basicamente por rochas fraturadas.

**Palavras-chave:** Freático; exploração; recarga.

## IDENTIFICATION OF RECHARGE ZONES AND CHARACTERIZATION OF GROUND WATER SYSTEMS IN IPORÁ - GO

**Abstract.** In this paper were mapped the recharge areas of ground water in Iporá county. Characteristics like lithology, type of soils and occupation of land were evaluated too. The research was developed in many fronts like: mapping and identification of recharge areas through satellite images and geoprocessing software; characterization of soil types at the recharge zone; hydraulic conductivity of soils; identification of water table system and



calculation to estimate the recharge of ground water, permanent reservation and exploitable reservation, for that, were applied the methodology of hydrogeology. In the results were identified two water table systems: fractured aquifer and double porosity, been this last one developed in sedimentary formations denominated Furnas Formation, Ponta Grossa Formation and Aquidauana Formation. The fractured aquifer is within crystalline rocks like granite and gneisses and too within alkaline rocks like gabbro and pyroxenites. The aquifers, presents low reserves because the geological structure in the county is 70% of fractured rocks.  
**Key-words:** Groundwater, exploitation, recharge.

## DENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE RECARGA Y CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS FREÁTICOS DE IPORÁ - GO.

**Resumen.** En este documento se mapearon las áreas de recarga de agua subterránea en el condado de Iporá. También se evaluaron características como la litología, el tipo de suelo y la ocupación de la tierra. La investigación se desarrolló en muchos frentes como: mapeo e identificación de áreas de recarga a través de imágenes satelitales y software de geoprocésamiento; caracterización de los tipos de suelo en la zona de recarga; conductividad hidráulica de los suelos; Para ello, se aplicó la metodología de hidrogeología para la identificación del sistema de la capa freática y el cálculo para estimar la recarga de aguas subterráneas, la reserva permanente y la reserva explotable. En los resultados se identificaron dos sistemas de nivel freático: acuífero fracturado y doble porosidad, siendo este último desarrollado en formaciones sedimentarias denominadas Formación Furnas, Formación Ponta Grossa y Formación Aquidauana. El acuífero fracturado se encuentra dentro de rocas cristalinas como el granito y los gneises y también dentro de rocas alcalinas como el gabro y las piroxenitas. Los acuíferos presentan reservas bajas debido a que la estructura geológica del condado es el 70% de las rocas fracturadas.

**Palabras clave:** Frecuente; explotación; recarga.

## 1 INTRODUÇÃO

As águas superficiais em todo o Brasil e também em Iporá estão sendo indiscriminadamente exploradas sem a preocupação de sua conservação, e isso tem levado à escassez. Em Iporá a demanda de água para a indústria e para o sistema agrário não é



significativa, já que o município não conta com industrialização de alta demanda por água, nem com intensas lavouras irrigadas, embora a agricultura temporária tenha chegado ao município com mais intensidade nos últimos dez anos, ocupando áreas que até então eram destinadas às pastagens. Nos períodos de estiagem a captação de água para o abastecimento urbano chega aos 100% da vazão do manancial, gerando problemas sérios de vazão à jusante do sistema de captação.

O município de Iporá é drenado por três microbacias hidrográficas, todas tendo como destino final a bacia hidrográfica do rio Araguaia. A microbacia do rio dos Bois ocupa a porção centro-norte do município; a microbacia do ribeirão Santa Marta a leste do município e a microbacia do ribeirão Santo Antônio que ocupa 12,37% da área do município conforme estudo de Moura (2017), comporta a estação de captação da água que abastece a cidade.

Os mananciais passíveis de serem explorados no município apresentam vazões baixas, principalmente em função do período de estiagem prolongado que domina nessa região de maio a setembro, gerando uma preocupação com a falta de água, mesmo porque por trinta anos se faz a captação em um mesmo manancial, que já apresenta problemas sérios de desmatamento de suas margens e assoreamento de seu leito, e também porque nenhum investimento tem sido feito no sentido de ampliar ou captar água de outros mananciais até o momento.

Em estudo feito por Moura (2017) a vazão média anual do ribeirão Santo Antônio de onde se capta a água, é da ordem de 1157,13 L/s, o que representa uma vazão média baixa, que não atende às demandas em períodos de menor precipitação. Considerando que há uma demanda alta por água no município o número de abertura de poços artesianos tem tido um acréscimo nos últimos anos, e a maior parte deles não apresenta projeto nem outorga, como exige a Lei estadual 15.380 de janeiro de 2000, e também não são fiscalizados pelos órgãos competentes como Secretaria de Meio Ambiente Recursos Hídricos Infraestrutura Cidades e Assuntos Metropolitanos (SECIMA) e nem pela prefeitura de Iporá, que sequer tem uma secretaria de meio ambiente. Por outro lado, não se conhece o potencial de recursos hídricos subterrâneos do município nem a capacidade de recarga dos aquíferos e nem a capacidade explorável dos mesmos.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo principal, identificar as zonas de recarga dos aquíferos no município de Iporá, bem como caracterizá-los e estimar a recarga,

o estoque e a capacidade de exploração, acreditando que isso possa subsidiar um planejamento específico para a exploração da água subterrânea e ainda fomentar novos estudos cujo foco seja a água ou que tenha uma relação mesmo indireta com ela.

O município de Iporá (Figura 1) está situado na mesorregião denominada Centro-Goiano e na microrregião de Iporá, no Estado de Goiás, Brasil. Localiza-se a 16° 18' S, 50° 30' O. Ocupa uma área de 1.032 Km<sup>2</sup> (SOUSA, 2006).

**Figura 1.** O município de Iporá no Brasil e em Goiás



De acordo com a Lei estadual nº 13.583 de 11 de janeiro de 2000 as águas subterrâneas são aquelas “que ocorram, natural ou artificialmente, no subsolo, de forma suscetível de extração e utilização pelo homem”.

Conforme análise do mapa geológico do município de Iporá, aproximadamente 2/3 da área do município apresenta litologia do embasamento cristalino, que por natureza, apresenta baixa capacidade de armazenamento e exploração de água subterrânea, o que ocorre através do seu sistema de juntas e fraturas, gerando vazões bastante pequenas, que conforme Leinz e Amaral (2006) é da ordem de 1,5 m<sup>3</sup>/s em rochas fraturadas como são as do município, formadas principalmente por granitos e gnaisses que representam mais de 2/3 da área do



muicípio. Há ainda rochas sedimentares das formações Furnas e Ponta Grossa com espessuras pequenas (30 a 70 m) sobrepostas às rochas graníticas, e ainda pequenos núcleos de rochas alcalinas (Gabros, piroxenitos e dunitos).

Os solos desenvolvidos sobre granitos estão assentados prioritariamente sobre relevo suave ondulado a forte-ondulado no município (SOUSA, 2013), são basicamente neossolos litólicos e cambissolos e, eventualmente latossolos, isso favorece mais o escoamento superficial em detrimento da infiltração em grande parte do município.

Apesar de se conhecer muitas variáveis que influenciam na capacidade de abastecimento do lençol freático, ainda não é tarefa muito fácil calcular a recarga dos mesmos, uma vez que este é um processo que se dá fora do nosso alcance visual e de difícil mensuração, já que é um processo em subsuperfície. Todavia alguns métodos foram desenvolvidos para este fim, considerando variáveis passíveis de mensuração. Não discutiremos nesse trabalho estes métodos, mas podemos citar:

(...) os métodos podem ser classificados em: (i) métodos empíricos, que relacionam a precipitação com a recarga; (ii) métodos baseados em medidas diretas de determinados processos físicos; e, (ii) modelos numéricos baseados na solução da Lei de Darcy. (EILERS, 2004, p.3).

Cabe ainda destacar que nenhum método é 100% eficiente, mas desde que utilizem dados coletados de maneira segura, são importantes para estimar a recarga e planejar ações de consumo das águas subterrâneas.

Enfim, as zonas de recarga e a capacidade de recarga das mesmas estão diretamente ligadas ao tipo de litologia, relevo, solo, cobertura vegetal, chuvas, evaporação, escoamento superficial e infiltração.

As zonas de recarga do lençol freático apresentam ligações diretas com a forma do relevo, ou seja, quanto mais plano for o relevo, maior a infiltração da água. Dessa maneira, os pontos mais favoráveis para a recarga são aqueles que apresentam uma altitude mais acentuada em relação ao fundo de vale desde que o topo apresente-se plano, pois a altitude influencia na pressão hidrostática da água forçando-a para as partes mais baixas devido à gravidade, além disso, a superfície plana favorece a infiltração em detrimento do escoamento superficial.



O tipo de solo e suas características físicas principalmente da textura, também influenciam na infiltração, pois quanto mais poroso for o solo maior será sua condutividade hidráulica e sua capacidade de contribuir com a recarga do lençol freático. Solos arenosos permitem maior infiltração da água da chuva, mas também apresentam maior suscetibilidade à percolação por contaminantes, e menor capacidade de sustentar umidade para a vegetação durante períodos de estiagem, bem como, para produzir a fluidez vertical de água para a zona saturada nesta época, (Lepsch, 2011).

Solos de textura média são eficientes na recarga e na manutenção de água para o sistema radicular das plantas, enquanto solos muito argilosos são de baixo poder de percolação de água. Para Barreto e Oliveira (1999), os solos com maior volume de silte além de favorecer a percolação, auxilia na ascensão capilar da água e na drenagem interna. A drenagem interna dos solos varia também com as condições topográficas, onde em terrenos altos e planos a drenagem é mais eficiente e em terrenos mais baixos como as várzeas, os terrenos são encharcados, conforme descrevem Palmieri e Larach (2003).

A percolação verticalizada da água no solo depende então da maior atuação da componente perpendicular (TRICART, 1977), ou seja, mais plano o terreno, maior a infiltração em detrimento do escoamento superficial. Dessa maneira, as zonas de recarga do lençol freático são mais comuns e eficientes onde predominam terrenos mais altos e planos, onde os solos tendem a ser mais desenvolvidos, como os latossolos.

Para Almeida et al (2006, p.87), os solos desempenham três funções vitais para os aquíferos:

[...] função filtro, função reguladora e função recarga, ou seja, o estudo do comportamento do funcionamento hídrico dos solos é fundamental para o entendimento dos processos de circulação hídrica subterrânea.

Outro fator importante na mensuração da capacidade de recarga de aquíferos é a densidade de drenagem (Dd), que é uma variável condicionada pelo grau de dissecação do relevo e reflete a quantidade de canais para o escoamento, Christofolletti, (1981). A densidade de drenagem é capaz ainda de indicar a condição de infiltração da água, uma vez que quanto menor a densidade de drenagem, maior será a superfície de contribuição, o que resulta numa maior capacidade de infiltração Vilella e Mattos (1975).

Para Pott (2001) o conhecimento da condutividade hidráulica dos solos é também



fundamental no entendimento da recarga do lençol freático apresentando valor de infiltração básica VIB diferenciada conforme as características físicas do solo. Os solos funcionam como agente primário na condução da água até a zona saturada por isso sua textura e desenvolvimento vertical são muito importantes.

A chuva é outro fator limitante na recarga do lençol freático, pois sem ela não há recarga. Dessa maneira, a recarga tem relação direta com o volume de chuva e é preciso conhecer a precipitação média conforme dados históricos de registro de chuva, que quanto mais longo melhor.

Os dados de chuva bem como dados de evapotranspiração são importantes na definição da recarga dos aquíferos e o balanço hídrico pode auxiliar no cálculo da reserva renovável. A infiltração então é o produto da quantidade de chuva menos os valores escoados, interceptados e da evapotranspiração real. Nos períodos de excedente hídrico há um potencial maior de recarga do aquífero que não necessariamente será atingido conforme destaca Carvalho e Silva (2006).

A estrutura rochosa aponta para outro fator que interfere na recarga do lençol freático, pois quanto mais resistente, mais difícil se torna a percolação da água até grandes profundidades, como no granito, que apresenta um sistema de juntas e fraturas por onde a água deverá percolar, mas nem sempre estas juntas e fraturas são interconectadas, diminuindo assim a percolação nesse tipo de rocha. Para Jesus (2005) a permeabilidade em meios fraturados depende da disposição das fraturas, da conectividade entre elas, da abertura, e do número de fraturas por unidade de distância.

Conforme Leinz e Amaral (2006), rochas cristalinas apresentam porosidade baixa, variando entre 0,5 a 2%, enquanto em rochas sedimentares clásticas a porosidade é elevada, favorecendo tanto o armazenamento quanto o fornecimento de água.

Sousa (2013) descreve que em estudo do IGME (1993) testes de bombeamento em granitos apontaram que a condutividade hidráulica e o armazenamento são influenciados pelo sistema de juntas. A condutividade hidráulica variou de  $10^{-2}$ m/dia para 1m/dia, sendo que os menores valores estavam associados ao sistema de juntas, enquanto os valores maiores estavam associados à zona de falhas. Nas áreas de decomposição rochosa do granítico os valores podem ser extrapolados para mais, conforme destacam Stober e Blucher, (2007).

De acordo com Sousa (2013, p. 56.)



A região oeste de Goiás onde se encontra Iporá foi classificada por Almeida et al (2006) como pertencendo ao Sistema Aquífero Cristalino Oeste (SACW). De acordo com os autores, este sistema é constituído por uma porosidade “secundária planar” onde a água retida pode circular pelas fraturas interconectadas. As rochas cristalinas de origem granítica e gnáissica que estão associadas ao Arco magmático do Oeste de Goiás, além da suíte plutônica de Iporá e Piranhas ditam as características deste aquífero.

As rochas cristalinas apresentam diferentes potencialidades de armazenamento e fornecimento de água, sendo que em granitos e gnaisses que são rochas com maior volume de quartzo há uma tendência à maior formação de juntas, diaclases e falhas por onde a água pode ser armazenada e deslocar se houver interconectividade entre elas conforme destaca Davis e Turk (1964).

Conforme os fatos apresentados, o estudo buscou localizar onde estão as zonas de recarga do lençol freático no município de Iporá, haja vista que as condições naturais como relevo e litologia não favorecem uma área muito extensa e isso implica em tese, num baixo volume de recarga. Buscou-se a realização de um levantamento que ainda não existia a nível municipal, e que diante de uma escassez anunciada da água, a informação é sempre valiosa.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste estudo contou com diversas fases, como levantamento bibliográfico; mapeamento das áreas de recarga; caracterização textural dos solos das zonas de recarga; identificação do embasamento rochoso; testes de condutividade hidráulica dos solos; levantamento de dados de chuva numa série histórica de 42 anos; cálculo da reserva renovável, da reserva permanente e da reserva explorável dos aquíferos.

Utilizou-se um método empírico para estimar a reserva renovável, o método do Balanço hídrico, na qual se usa componentes que influenciam diretamente na recarga do lençol como a precipitação, a evaporação, o escoamento superficial e a infiltração.

Para Ribeiro (2009, p. 1),

[...] a recarga é a quantidade de água que escoo verticalmente até atingir o nível freático, aumentando assim a quantidade de água subterrânea armazenada. Contribui para esta componente do ciclo hidrológico a infiltração da água da chuva e da neve, a infiltração das águas dos rios, de lagos e de outros aquíferos.

Produtos cartográficos foram elaborados através da compilação de imagens do *Shuttle*



*Radar Topography Mission* (SRTM) referentes ao modelo digital de elevação (altitude) com 30 m de resolução espacial. Por meio das ferramentas de processamento digital disponíveis no software de geoprocessamento ArcGIS foram levantadas variáveis morfométricas secundárias, sendo elas: declividade, hipsometria, relevo sombreado e distância vertical da drenagem mais próxima (*Height Above the Nearest Drainage* - HAND).

O HAND reflete a distância vertical de cada ponto em relação à drenagem mais próxima, ou seja, o desnível altimétrico (RENNÓ et al., 2008). O desnível altimétrico é determinado a partir do caminho preferencial da água no terreno até a drenagem mais próxima. Os valores das distâncias verticais extraídos a partir do HAND foram computados a partir da topografia proveniente do Modelo Digital de Elevação do SRTM conforme Rennó et al. (2008).

A distância vertical à drenagem mais próxima está relacionada indiretamente com a profundidade do lençol freático, que por sua vez, indica a disponibilidade da água do solo. Valores pequenos de distância vertical (próximos a zero) indicam regiões cujo lençol está próximo a superfície e, portanto, o solo se encontra em condições próximas à saturação. Valores altos de distância vertical identificam regiões com lençol freático profundo, ou seja, áreas bem drenadas.

O mapeamento HAND foi elaborado com utilização do limiar de 500 m e validado conforme a correspondência com as drenagens e nascentes identificadas nas bases cartográficas digitais existentes. Sendo dada em metros, as distâncias verticais foram agrupadas em quatro classes que, conforme Rennó et al. (2008) e Nobre et al. (2011), são capazes de representarem as seguintes unidades do relevo: a) Menor que 5 m = baixio, áreas alagadas ou suscetíveis a alagamentos; b) 5 a 16 m = áreas de transição ou ecótono; c) 16 a 50 m = encostas; d) acima de 50 m = topo de morro.

O mapa HAND que indica a altura da água subterrânea conforme a drenagem mais próxima foi importante para a confecção do mapa das zonas de recarga. Todas as áreas planas são em potencial, áreas de recarga, mas nesse estudo foram consideradas áreas de recarga aquelas cuja declividade favorece mais a infiltração que o escoamento superficial, ou seja, áreas de relevo com topos planos a ligeiramente inclinados. Considerou-se ainda uma altura mínima de 30 metros acima da drenagem mais próxima, pois quanto mais elevado e plano, maior a infiltração. Para a declividade adotou-se o intervalo de 0 e 8%, mesmo considerando



que há infiltração em intervalos maiores e em alturas menores.

A densidade de drenagem foi calculada com base na metodologia utilizada por Beltrame (1994), onde se calcula a relação entre o comprimento total dos canais de drenagem e a área drenada, nesse caso, o município de Iporá. A densidade de drenagem foi levantada com base na densidade de *kernel* da rede de drenagem (escala 1:100.000) do município de Iporá. A densidade de drenagem auxiliou na caracterização topográfica, onde maior a densidade menor a infiltração e menor a densidade, maior a infiltração, conforme destacam (VILELLA E MATTOS, 1975).

A caracterização textural dos solos nas zonas de recarga foi realizada em laboratório, a partir de coleta de amostras no campo, 32 amostras ao todo. Foi utilizado para definição da textura o método do densímetro de Bouyoucos conforme descrito em Sousa (2013).

A identificação do embasamento rochoso foi feita com base em mapa geológico do município de Iporá, e por controle de campo.

Os testes de condutividade hidráulica dos solos foram realizados com infiltrômetro de Mini Disk que determina a infiltração em solos insaturados. Foram realizados 40 ensaios em todas as áreas de recarga.

A caracterização final do relevo foi executada por meio de cálculos do grau de dissecação do relevo conforme metodologia de Ross (1990), onde se definiu o comprimento das vertentes, o grau de aprofundamento da drenagem e as altitudes mínimas e máximas do município, para isso utilizou-se de medidas realizadas diretamente em imagem do Google Earth.

Para efetivação dos cálculos de recarga, foram utilizados dados do balanço hídrico climatológico do município. Os dados de chuva foram obtidos a partir do site da Agência Nacional de Águas (ANA), e dados da estação climática da UEG campus de Iporá numa série histórica de 1974 a 2015, que serviu para o cálculo da média histórica de chuvas no município. As Informações de chuva e temperatura da série histórica foram utilizadas na composição do Balanço Hídrico Climatológico realizado com auxílio do programa desenvolvido por Rolim e Sentelhas (1984) e na metodologia de Vilela e Mattos (1975).

Na composição do cálculo da recarga foi utilizada informação sobre o escoamento superficial. Nesse caso foram utilizados dados de coeficiente de escoamento descrito por Carvalho e Silva (2006), onde se considera a declividade do terreno e a característica textural



dos solos (Quadro 1).

Os intervalos de declividades foram agrupados, os índices dos solos foram agrupados para solos francos uma vez que esta é a textura predominante nos solos avaliados, ou seja,  $(0,30 + 0,35 / 2 = 0,325)$ . O Coeficiente (C) é o volume total de escoamento dividido pelo volume total de precipitação. O valor de escoamento superficial ( $E_s$ ) resulta da relação entre a Precipitação e o escoamento superficial, conforme declividade e características texturais dos solos na área de recarga conforme o quadro 1.

**Quadro 1.** Coeficiente de escoamento superficial.

Pastagem	Solo Arenoso	Solo Franco	Solo Argiloso
Declividade (%)			
0 – 5	0,10	0,30	0,40
5 – 10	0,15	0,35	0,55

**Fonte:** Adaptado de Carvalho e Silva (2006).

Os dados de condutividade hidráulica auxiliaram no estabelecimento da permeabilidade da zona vadosa, que tem a finalidade de proteger o aquífero e atuar na sua recarga.

Os cálculos da reserva renovável, da reserva permanente e da reserva explorável do aquífero foram dadas em  $m^3/\text{ano}$  e posteriormente transformadas para  $km^3/\text{ano}$ . Para isso foram utilizadas as equações abaixo, extraída de Ribeiro (2009) para equação 1, e Almeida et al (2006) para as equações 2 e 3.

A equação 1 é composta por dados obtidos do cálculo do Balanço Hídrico Climatológico de Iporá numa série histórica de 1974 a 2015. Os dados de precipitação (P), evapotranspiração real (ETR) foram generalizados a partir de média anual da série histórica considerada.

$$\text{Equação 1. } R_r = A \cdot \eta_e \cdot \Delta h$$

Onde:

$R_r$  = reserva renovável;

A = área de influência do aquífero ( $m^2$ );

$\eta_e$  = porosidade efetiva;

$\Delta h$  = Oscilação do nível (m) ou  $\Delta R = (P - ETR)$  em mm em que P é a precipitação e ETR é a Evapotranspiração Real.

$$\text{Equação 2. } R_p = V_s \quad \text{onde: } V_s = A \cdot b \cdot \eta_e$$

Onde:

$R_p$  = reserva permanente;



$A$  = área de influência do aquífero ( $m^2$ );

$D_e$  = porosidade efetiva;

$b$  = espessura saturada do aquífero.

$$\text{Equação 3. } R_{exp} = R_r + x \cdot R_p$$

Onde:

$R_{exp}$  = reserva explotável;

$R_r$  = reserva renovável;

$X$  = é um percentual da reserva permanente;

$R_p$  = reserva permanente.

Os valores de porosidade efetiva dos aquíferos ( $D_e$ ) e altura saturada do aquífero foram obtidos do estudo de Almeida et all (2006) como sendo: Fraturado 1,5%. Para as formações Furnas, Ponta Grossa e Aquidauana estabeleceu-se uma porosidade de 8%. O índice de 8% foi utilizado como uma média entre valores recomendados no estudo de Almeida et all. (2006) que propuseram 10% para a Formação Furnas e 6% para as formações Ponta Grossa e Aquidauana.

Os valores de reserva renovável foram considerados com base na infiltração até a zona saturada de 5% da precipitação total, tanto para o aquífero cristalino quanto para os aquíferos de dupla porosidade.

O percentual da reserva renovável utilizado no cálculo da reserva explotável (variável  $x$ ) foi de 5% por considerar que a circulação da água nos aquíferos fraturados e de dupla porosidade é complexa, e também em função da questão pluviométrica anual e sua maior concentração em um período do ano (Outubro a Março) na região.

A espessura saturada ( $b$ ) da região cristalina ou fraturada foi obtida de Almeida et all, (2006) sendo de 120 metros, e para a região de dupla porosidade foi estimada em 100 metros com base na diferença média dos capeamentos sedimentares das Formações Furnas, Ponta Grossa e Aquidauana que no município cobrem litologias cristalinas. A média foi obtida através da hipsometria entre os pontos mais elevados das referidas coberturas e os afloramentos cristalinos no seguimento das vertentes.

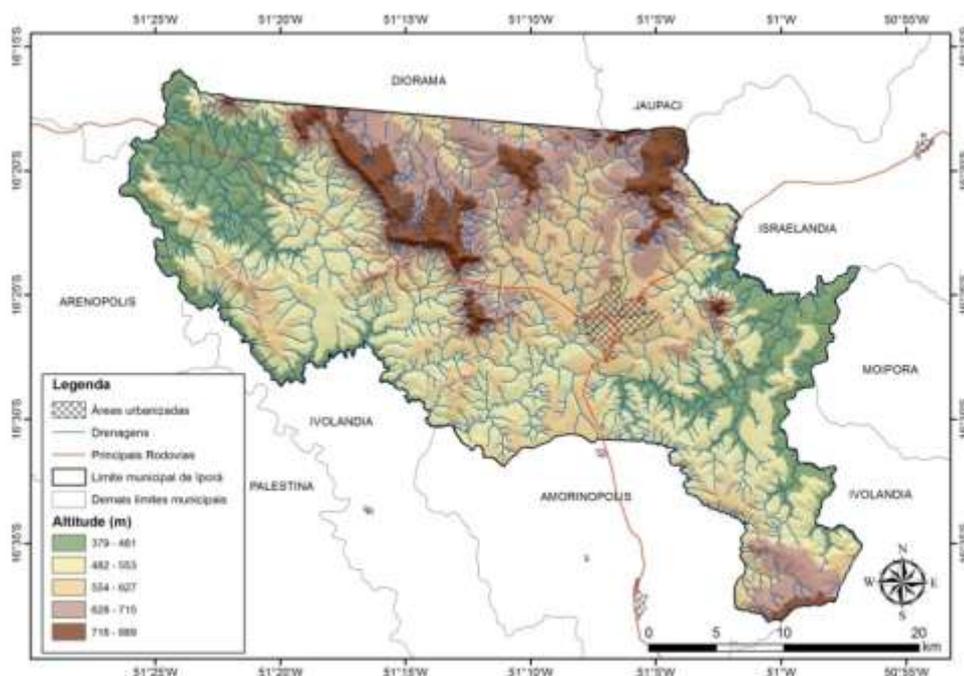
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O município de Iporá apresenta relevo suave ondulado a ondulado predominando topos convexos na maior parte do município, principalmente onde predominam litologias do embasamento cristalino ( $711 \text{ km}^2$ ). Os topos planos são encontrados em relevo procedente das

formações sedimentares (Furnas e Ponta Grossa). A altitude varia de 379 a 890 metros e o grau de dissecação do relevo é mediano (3.3), onde o entalhamento do vale está entre 40 e 80 metros e as vertentes possuem dimensões entre 150 a 350 metros, ou seja, predomina mais o escoamento superficial que a infiltração o que condiz ainda com a densidade de drenagem que é da ordem  $3,54 \text{ km/km}^2$  configurando um relevo de media rugosidade e drenagem satisfatória.

Na figura 2 apresenta-se o mapa hipsométrico com as variações altimétricas do município com destaque para altitudes mais elevadas nos conjuntos de serras de origem geológica de filiação alcalina a nordeste e na escarpa erosiva que delimita a bacia do Caiapó na região central cuja cimeira é constituída por rochas das Formações Furnas e Ponta Grossa.

**Figura 2.** Mapa hipsométrico de Iporá



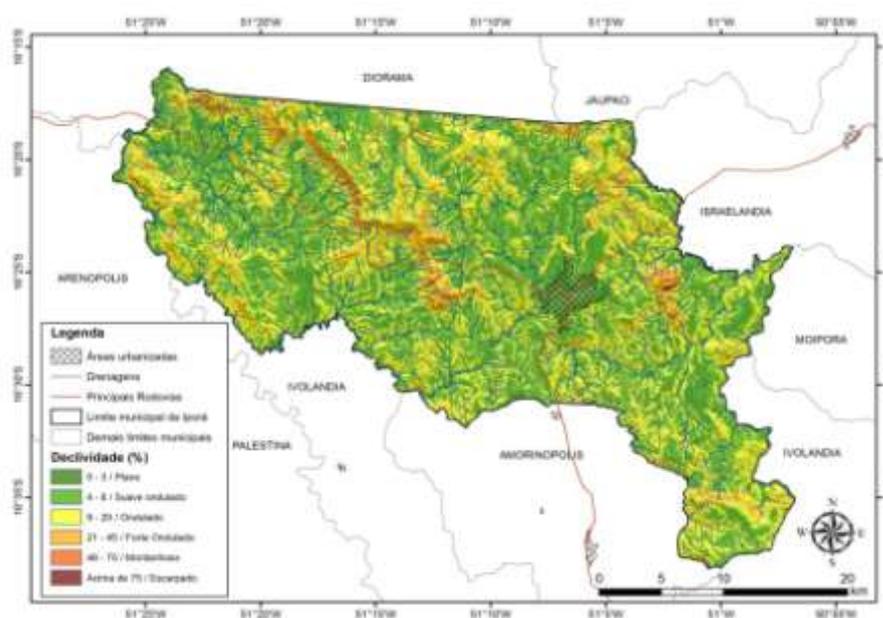
**Fonte:** autor

Conforme as classes de declividades (Figura 3), o município tem 38% de sua área com declividades entre 0 a 8%, que em tese são áreas favoráveis à recarga do lençol freático. Todavia apenas 22,3% da área total do município oferecem condições adequadas para a recarga ao se considerar declividades entre 0 e 8% e altura em relação ao curso de água mais

próximo, da ordem de 30 metros, como foi proposto para este estudo.

De acordo com os dados apresentados no quadro 2, as análises dos solos nas áreas de recarga apontaram para texturas predominantemente francas conforme escala de Atterbeg, e as frações estão nos seguintes intervalos.

**Figura 3.** Mapa de declividades de Iporá.



**Fonte:** autor

**Quadro 2.** Classificação textural dos solos nas zonas de recarga

Textura	Fração	Intervalo (%)
Franca	Areia	48 – 68
	Silte	0 – 22
	Argila	30 – 35
Franca argilosa	Areia	21 – 44
	Silte	18 – 49
	Argila	28 – 40

**Fonte:** Adaptado da Pirâmide textural de Atterbeg

Os solos com textura franca ocupam 65,6% da área do município e os francos argilosos 34,3%, mas apesar de serem texturas favoráveis a uma boa condutividade hidráulica, as condições de uso dos solos dificultam a infiltração, resultando em condutividades



hidráulicas que variaram de média a muito baixa, sendo que sobre as coberturas graníticas as infiltrações foram mais dificultadas, principalmente em função do uso da terra quase que exclusivamente por pastagens degradadas e com solos compactados em superfície.

O quadro 3 mostra os valores de condutividade hidráulica encontrados sendo que 37,6 % apresentaram condutividade muito baixa, 46,6% baixa e 15,8 condutividade média. Assim é possível afirmar que mesmo nas áreas de recarga a mesma não é eficiente devido nem tanto pelas condições texturais dos solos, mas devido à compactação superficial dominante.

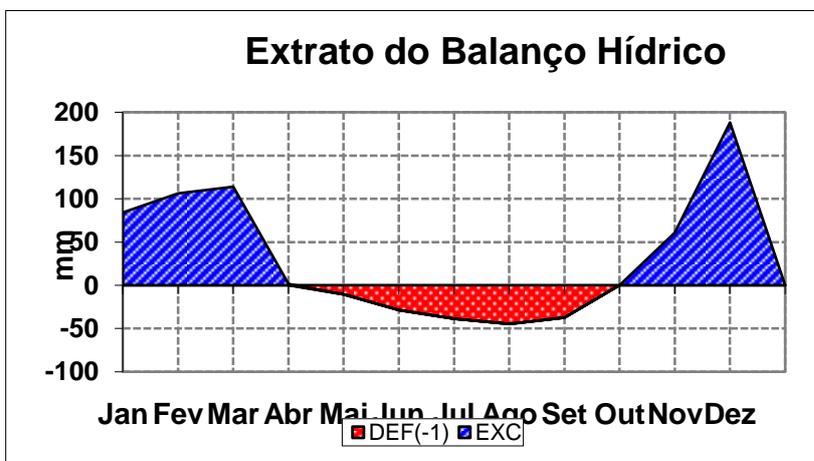
**Quadro 3.** Condutividade hidráulica dos solos nas zonas de recarga.

Valores de Referência $K_v$ (cm/s) Terzagui e Peck (1967);	Valores de $K_v$ (cm/s) – encontrados	Frações texturais predominantes
Média	$10^{-3}$	Areia bem selecionada textura média
Baixa	$10^{-4}$	Areia argilosa
M. Baixa	$10^{-5}$	Areia fina
M. Baixa	$10^{-6}$	Argilo/arenosa

### 3.1 Caracterização dos aquíferos

A avaliação do balanço hídrico climatológico apontou um período de excedente hídrico nos meses de Outubro a Março e um período de déficit de Abril a Setembro, sendo que no período de excedente há o consumo pelas plantas e também água disponível para o escoamento verticalizado até o lençol freático, enquanto nos meses de déficit a contribuição é invertida, passando o lençol a influenciar na manutenção dos cursos de água e, conseqüentemente, havendo rebaixamento do mesmo. A figura 4 mostra o extrato do balanço hídrico no município.

**Figura 4.** Déficit e excedente hídrico dos solos de Iporá.



O município apresenta dois domínios e três sistemas aquíferos, com um aquífero profundo de dupla porosidade constituído pelos sistemas Furnas, Ponta Grossa e Aquidauana com 2,57 km<sup>3</sup> de reserva permanente.

O sistema Furnas pertence à Formação Furnas - Grupo Paraná e à Bacia Sedimentar do Paraná com idade devoniana. Faria et all (1975) *apud* Sousa (2013) definiram os sedimentos desta formação em “arenitos finos e grosseiros, conglomeráticos, cores brancas, amarelas ou cinzas, com ocorrência restrita de delgados leitos de folhelhos micáceos de coloração cinza-bege e siltitos esbranquiçados”.

A Formação Ponta Grossa também pertence ao Grupo Paraná, possui idade devoniana e é possível encontrar fósseis em seus sedimentos, apresentando segundo Ianhez et all (1983) e Pena et all, (1972) uma origem marinha. É composta por folhelhos cinza e roxos, micáceos, bem laminados, quebradiços em pequenas plaquetas, apresentando fácies predominantemente argilosa. Sua espessura é em torno de 150 metros como destaca (Pena et all., 1975) citado em CPRM (1999).

A formação Aquidauana faz parte do Grupo Itararé (Carbonífero/Permiano): e segundo Almeida et all (2006, p.40):

[...] é composta por conglomerados, diamictitos, folhelhos vermelhos e principalmente arenitos. Os arenitos são mal selecionados, imaturos e cimentados por calcita ou ricos em matriz argilosa. As estratificações do tipo plano-paralela e ondulada são as estruturas sedimentares mais comuns. Localmente são encontradas concreções calcíticas e canais de corte e preenchimento. O ambiente deposicional é interpretado como um conjunto glaciogênico de condições pró-glaciais, como subambientes de lagos, rios e morainas, com forte influência de águas de degelo e com a chegada intermitente de capas de gelo. A própria natureza da sedimentação gera um conjunto de rochas sedimentares muito heterogêneas.

O outro sistema aquífero é profundo de domínio fraturado em sistema cristalino e apresentou uma reserva permanente estimada em 0,53 km<sup>3</sup>. Este sistema está subordinado às seguintes unidades litológicas: Complexo Granítico-Gnáissico (Paleoproterozóico/Arqueano) formado por granitos, tonalitos, trondhjenitos e granodioritos gnaissificados e milonitizados, possivelmente gerados no Arqueano e rejuvenescidos no Neoproterozóico (Moreton, 1999). Granitos Tipo Iporá, que exibem conforme Pena e Figueiredo (1972) *apud* SOUSA (2013, p. 78).

[...] corpos de amplas variedades petrográficas, predominando os granitos e os granodioritos pórfiros, havendo ainda descrições de passagens entre quartzo dioritos e quartzo monzonitos. Os afloramentos apresentam tonalidades diversas, de cinza a rosada e granulação de média a grossa.

Grupo Iporá (Mesozóico - Cretáceo) onde ocorrem rochas vulcânicas e intrusivas de natureza alcalina.

É formado por um complexo de rochas plutônicas, hipabissais e extrusivas de filiação alcalina, ácidas e ultramáficas, divididas em: rochas plutônicas (dunitos, peridotitos, serpentinitos, piroxenitos, gabros alcalinos, sienitos), rochas hipabissais (lamprófiros e diabásios), rochas extrusivas (traquitos, traquiandesitos, lavas alcalinas (Sousa, 2013, p.79).

A figura 5 mostra o limite entre rochas de filiação alcalina e rochas mais antigas do embasamento cristalino, onde cabe destacar uma ruptura de declive nesses locais, influenciando na capacidade de recarga do lençol freático.

**Figura 5.** Transição entre formações cristalinas e alcalinas.



**Fonte:** Sousa (2013).

O quadro 4 mostra os valores de reserva renovável, reserva permanente e reserva explorável dos aquíferos identificados no município.

**Quadro 4.** Sistemas aquíferos e suas produções.

Grupo	Domínio	Sistema Aquífero	Reserva Renovável (Km <sup>3</sup> /ano)	Reserva Permanente (Km <sup>3</sup> )	Reserva Explorável (Km <sup>3</sup> /ano)	Área ocupada (km <sup>2</sup> )
Profundo	Dupla Porosidade	Furnas; Ponta Grossa; Aquidauana	0,142	2,57	0,700	322
Profundo	Faturado	Cristalino	0,059	0,53	0,045	711
<b>TOTAIS</b>			<b>0,201</b>	<b>3,1</b>	<b>0,745</b>	<b>1032</b>

**Fonte:** autor

Conforme o estudo de Almeida et al (2006) o município de Iporá está inserido no que os autores denominam de Aquífero Cristalino Oeste, devido ao predomínio de rochas do embasamento cristalino, que segundo os autores.

Corresponde ao conjunto de rochas cristalinas, granitos e gnaisses associados ao Arco Magmático do Oeste de Goiás, Suíte Plutônica de Iporá, além da Formação Piranhas. São aquíferos profundos com espessura saturada que pode alcançar mais de 150 metros. (ALMEIDA et al, 2006, p. 146)

Nesse contexto a área do município contribui com 4,83% da reserva renovável, 2,88%

da reserva permanente e 2,10% da reserva explorável do Aquífero Cristalino Oeste. O Quadro 5 mostra as correlações entre os valores calculados por Almeida et al (2006) e os valores obtidos neste estudo.

**Quadro 5.** Relação entre reservas do aquífero Cristalino Oeste e sistema Cristalino de Iporá.

Sistema	Reserva Renovável (km <sup>3</sup> /ano)	Reserva Renovável (%)	Reserva Permanente (km <sup>3</sup> /ano)	Reserva Permanente (%)	Reserva Explorável (km <sup>3</sup> /ano)	Reserva Explorável (%)
Cristalino Oeste	1,22	100	18,4	100	2,14	100
Cristalino Iporá	0,059	4,83	0,53	2,88	0,045	2,10

**Fonte:** autor.

Cabe destacar que neste conjunto não foram considerados os valores obtidos para os aquíferos de dupla porosidade que devido à escala de abordagem dos autores, estariam inseridas no sistema “Cristalino Oeste” e que no presente estudo foram passíveis de desmembramento. A figura 6 mostra a distribuição dos sistemas freáticos do município.

As áreas de recarga ocupam 22,3% da área do município ou 230,1 km<sup>2</sup>. Ocorrem em todo o território, mas é mais eficiente na faixa de declividade de 0 a 8% associada a alturas superiores a 30 metros acima dos cursos de água mais próximos e em topos planos, pois nestes pontos os solos são mais desenvolvidos e a infiltração tende a ser mais eficiente devido à ação da gravidade, há uma melhor drenagem dos solos e maior gradiente entre a superfície infiltrante e a zona saturada.

**Figura 7.** Distribuição dos aquíferos no município de Iporá



Fonte: autor

#### 4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTUDO

As informações físicas necessárias para a caracterização dos sistemas freáticos foram satisfatórias uma vez que se tratava de informações físicas sobre o município, como estrutura geológica, clima, relevo, solos e dados pluviométricos, passíveis de serem encontrados em bases de dados oficiais e em bibliografias. Entretanto o estudo é preliminar e pioneiro cabendo novos estudos que possam levantar mais informações sobre a temática, inclusive com uma equipe multidisciplinar.

Apenas a título de informação, que poderá ser investigada em estudo posterior, a condição de pastagens degradadas na maior parte do município (75%) associada a uma litologia resistente em grande parte da área de estudo dificulta em parte a infiltração de água para o abastecimento do lençol freático como foi constatado em experimentos de condutividade hidráulica em mesmo solo, mas com graus de conservação diferentes.

Os solos mal conservados contribuíram diretamente para a diminuição da infiltração e com certeza, para o acréscimo do escoamento superficial, influenciando na recarga dos aquíferos.

#### 5 AGRADECIMENTOS



Agradecemos à Universidade Estadual de Goiás através da Pró-Reitora de Pesquisa e Pós-Graduação pelo apoio e aprovação do projeto.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) e CNPq pelo apoio financeiro para a pesquisa.

## 6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. de.; ANTÔNIO, L.; RODRIGUES, A. P.; CAMPOS, J. E. G. **Hidrogeologia do estado de Goiás e Distrito Federal**. Série Geologia e Mineração nº 1. Secretaria da Indústria e Comércio SIC. Goiânia-GO, 2006.

ANDRADE, H. e SOUZA. J. J. **Solos: origem, componentes e organização**. Lavras - MG. ESAL/FAEPE (Apostila de Curso de Especialização por Tutoria à Distância – Solos e Meio Ambiente – Modulo 1). S/d. 170p.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação**. UFSC. Florianópolis, 1994.112 p.

BERTOL, G. A.; CAMARGOS, C. C.; VELÁSQUEZ, L. N. M.; BRANCO, O. E. A.; COTA, S. D. S. Aplicação do método do cálculo do Balanço Hídrico na avaliação da recarga no aquífero Bauru em Araguari-MG. **XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. São Paulo, 2006.

BRAGA, E. L.; LEITE, F. D. A. B.; OCIAN, F.; MOTA, B.; FRANCISCO, R.; CARLOS, L.; CHAVES, L. C. G.; MESSIAS, M.; BARRETO, S.; BATISTA, M.; NETO, O.; NEUMA, R.; BARRETO, C.; CUNHA, S. F.; BARRETO, S.; OLIVEIRA, P. D.; Mapeamento de Solos Utilizando Técnicas de Geoprocessamento. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. 25-30 abril, INPE. Natal, Brasil, 2009, p. 3605-3611.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. Ed. Blucher. São Paulo, 1981.

DOMINGUES, A L., COSTA, A. P., ASSAD, E. D. Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para elaboração de mapa de solo com aumento de resolução espacial. Exemplos dos municípios de Rincão e – SP. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis, Brasil, 2007. 21-26 abril, INPE, p. 5715-5722.

EILERS, V. H. M. - Estimativa de recarga de águas subterrâneas utilizando o método do balanço hídrico. **XII Congresso brasileiro de águas subterrâneas**, São Paulo, 2004.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos.



2ª. Ed. Rio de Janeiro, 1997, 212 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa produção de informação, 1999.

IBGE. Cartas Topográficas. Folhas SE.22-V-B-IV, Iporá SE.22.V.B.III Amarinópolis. (1976). Escala 1: 100.000.

IBGE. Atualização de mapeamento de solos do Projeto Radambrasil (Folha SE.22-V-B, Iporá. (1983). Escala 1: 250.000). Rio de Janeiro.

IBGE. Manuais Técnicos em Geociências: Manual Técnico de Pedologia. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2007.

KIM, H. S. - **Soil erosion modeling using RUSLE and GIS on the Imha watershed, South Korea.** (Dissertação de Mestrado). Fort Collins University, Department of Civil Engineering. 131 p. Colorado, 2006.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNET, M. G.; TOMASSELLA, J. WATERLOO, M. J. Hand, *a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments.* In: **Amazonia. Remote Sensing of Environment**, v.112, p.3469-3481. (2009).

RIBEIRO, L. Gestão integrada de Bacias Hidrográficas: conceitos e métodos. Instituto Superior Técnico. São Paulo S/D.

JUNIOR, J. G. D. A. S.; DEMATTÊ, J. A. M. Modelo digital de elevação na caracterização de solos desenvolvidos de basalto e material arenítico. **Rev. Bras. Ciênc. solo** vol.32 no.1 Viçosa Jan./Feb. 2008.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMPT, E.; NASCIMENTO, P.C. & SCHINEIDER, P. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 107p.

TOMAZ, P. **Noções de Hidrogeologia.** Agosto de 2011. Disponível em: [http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/livro\\_infiltracao/capitulo117.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/livro_infiltracao/capitulo117.pdf).

VILELLA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** McGraw-Hill. São Paulo, 1975.

THORNTHWAITE, C. W; MATTER, J. R. *The Water Balance.* Publication in Climatology. Laboratory of Climatology, Drexel Institute of Technology, Centerton, v. 8, n. 1, p. 104. New Jersey 1965.

PAULA, T. L. F. de. **Comportamento hidráulico de aquíferos sedimentares e**



**metassedimentares de dupla porosidade da região do Alto Paraguai, MT.** Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

TERZAGUI, K; PECK, R. B. **Soil mechanics and engineering practice.** New York: John Wiley and Sons, 1967.

SOUSA, F. A. de. **Uso e ocupação na bacia hidrográfica do ribeirão Santo Antônio em Iporá-GO, como subsídio ao planejamento.** (Dissertação de Mestrado). Goiânia: IESA/UFG, 2006.

SOUSA, F. A. de. **A contribuição dos solos originados sobre granitos e rochas alcalinas na condutividade hidráulica, na recarga do lençol freático e na suscetibilidade erosiva – um estudo de caso na alta bacia hidrográfica do rio dos Bois em Iporá-GO.** (Tese de doutorado). Programa de Pós-graduação em Geografia da UFU, IG. Uberlândia, 2013, 207p.

MOURA, D. M. B. de. **Avaliação ambiental e fisiográfica da bacia hidrográfica do ribeirão Santo Antônio, com vistas ao abastecimento hídrico da cidade de Iporá-GO.** (Dissertação de Mestrado). Goiânia, IESA/UFG, 2017, 107p.

GOVERNO DE GOIÁS. Lei nº 13.583, de 11 de Janeiro de 2000. Gabinete Civil da Governadoria. Superintendência de Legislação. Goiânia, 2000.

CPRM/MME. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha SE-22 (Iporá). Luiz Carlos Moreton (org.). Brasília, (1999).