

# Delimitação de áreas potenciais de recarga subterrânea na bacia hidrográfica do Rio Siriri, Sergipe

J. O. Melo Neto<sup>1</sup>; R. M. Chagas<sup>2</sup>; A. V. Mélo Júnior<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia/Laboratório de Hidráulica, Universidade Federal de Lavras, 37200-000, Lavras-MG, Brasil

<sup>2</sup> Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, São Cristóvão-SE, Brasil

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 05508-900, São Paulo-SP, Brasil

joseneto@posgrad.ufla.br;

(Recebido em 05 de setembro de 2012; aceito 15 de julho de 2013)

**Resumo:** Os aquíferos constituem importantes fontes de abastecimento em muitas bacias especialmente quando a água superficial apresenta cenários de escassez ou de poluição. Muitos autores atribuem às águas subterrâneas importância estratégica na manutenção de ecossistemas. A recarga constitui fator preponderante para a manutenção dos sistemas aquíferos. Neste artigo, foi apresentada uma metodologia baseada em SIG para delimitar as potenciais áreas de recarga de água subterrânea usando como caso de estudo a bacia do Rio Siriri no Estado de Sergipe. Foram elaborados mapas hipsométricos e de declividade com base no modelo digital de elevação que foram associados aos mapas temáticos de geomorfologia, classe de solo, tipos de aquíferos, uso do solo e rede de drenagem. Cada mapa foi subdividido em pesos e o produto dos pesos resultou no valor do potencial de recarga que, por sua vez, redundou numa classificação. Com regiões mais favoráveis concentradas em sua cabeceira, 61,04% da área da bacia (254,15 km<sup>2</sup>) oferecem condições favoráveis à recarga subterrânea. A metodologia empregada mostrou-se eficaz para avaliar a distribuição da recarga subterrânea na bacia podendo ser de grande importância para o manejo da bacia e para o gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos.

Palavras-chave: Recarga de aquífero; sistemas de informações geográficas; hidrologia.

## Delineation of potential areas of groundwater recharge in the Siriri River basin, State of Sergipe, Brazil

**Abstract:** Aquifers are important sources of water supply in many basins especially when surface water presents scenarios of scarcity and pollution. Many authors attribute the groundwater strategic importance in the maintenance of ecosystems. The recharge is an important factor for the maintenance of the aquifer systems. In this paper, it was used a methodology based on GIS to delineate potential areas for groundwater recharge. The Siriri River basin, in the State of Sergipe, Brazil, was used as a case study. Hypsometry and slope maps were prepared through digital elevation model that were associated with thematic maps of geomorphology, soil class, aquifer types, soil occupation and drainage network. Each map was divided by weight and the weights resulted in the value of the potential recharge that, by it turn, resulted in a classification. 61.04% of the basin area (254.15 km<sup>2</sup>) provides favorable conditions for groundwater recharge and the most favorable regions were concentrated at upstream limit. The methodology was effective to evaluate the distribution of groundwater recharge in the basin and can be a valuable tool for the management of groundwater resources.

Keywords: Aquifer recharge; geographic information systems; hydrology.

## 1. INTRODUÇÃO

O Fundo das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) [1] estima que mundialmente o uso da água proveniente das diversas fontes está distribuído da seguinte forma: agricultura 70 a 80%, indústria 20 a 25% e consumo doméstico 6 a 10%. Aproximadamente 98% de toda água doce disponível para os múltiplos usos é água subterrânea [2].

O planejamento e gestão dos mananciais subterrâneos tornam-se assim indispensáveis no sentido de compatibilizar os vários usos, viabilizando os diferentes setores produtivos, monitorando a quantidade e a qualidade, e melhorando os níveis de eficiência global de uso.

O problema maior atualmente não é a disponibilidade e sim o acesso às fontes de água em boas condições de uso. Os aquíferos constituem fontes alternativas ou fontes primárias de exploração de água, dependendo de características climatológicas e hidrogeológicas da região onde esteja localizado, e a estimativa de parâmetros como recarga, capacidade de armazenamento e transmissividade são imprescindíveis para avaliação da potencialidade atual e para a construção de cenários que direcionem a exploração racional desses mananciais.

O termo recarga representa a quantidade de água, por unidade de área, que penetra no subsolo até atingir o lençol freático contribuindo para aumentar a reserva subterrânea permanente ou temporária de aquífero, e, no caso da reserva temporária, é considerada como reserva reguladora ou renovável, que pode ser considerada como reserva explotável [3, 4]. A água proveniente da precipitação pluvial é o principal mecanismo de entrada de água no sistema aquífero e o volume de água destinado à recarga é dependente de fatores como interceptação (cobertura do solo), evapotranspiração e escoamento superficial [5].

A preservação das áreas de recarga e sua adequação à forma de ocupação com as atividades de exploração de recursos, com suas potencialidades naturais, são muito importantes para garantir uma exploração duradoura do manancial. Dependendo do clima característico da região onde está o aquífero, os fatores para adequação de uso e preservação são imprescindíveis, visto que a porcentagem de precipitação pluvial que representa recarga é de aproximadamente 40% em regiões de climas úmidos e temperados, de 10 a 20% em regiões de clima mediterrâneo, e em regiões de clima árido esse percentual pode chegar a zero [1, 2].

O emprego de ferramentas SIG para o planejamento ambiental tem sido validado por diversos autores [6, 7, 8, 9, 10], pois permite avaliar de forma integrada e simplificada um grande número de variáveis, possibilitando uma rápida geração de informações, além da inclusão de variáveis anteriormente não consideradas, visto que possibilita novas interações a qualquer momento.

Na estimativa da recarga, o sensoriamento remoto pode ser utilizado em larga escala, por exemplo, mediante medidas indiretas de umidade do solo ou também em modelos de balanço hídrico. Da mesma forma, a classificação de imagens de satélite com elaboração de mapas de declividade, cobertura e uso do solo, por meio de técnicas específicas de classificação supervisionada e não-supervisionada, permite a identificação de áreas, facilitando a análise quantitativa e qualitativa de recarga dentre as diferentes coberturas do solo [4].

Diante do exposto, o presente trabalho foi realizado tendo como objetivo delimitar as potenciais áreas de recarga superficial dos lençóis freáticos na bacia hidrográfica do Rio Siriri, no Estado de Sergipe, utilizando sistemas de informações geográficas e técnicas de geoprocessamento.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Caracterização da área de estudo**

A área em estudo esta inserida na bacia hidrográfica do Rio Siriri, afluente do Rio Japaratuba, no Estado de Sergipe, ocupando uma área de 416,34 km<sup>2</sup> (Figura 1). A bacia engloba nove municípios com área total ou parcialmente inclusa em sua área: Nossa Senhora das Dores, Santo Amaro das Brotas, Capela, Divina Pastora, Maruim, General Maynard, Rosário do Catete, Siriri e Carmópolis [11].

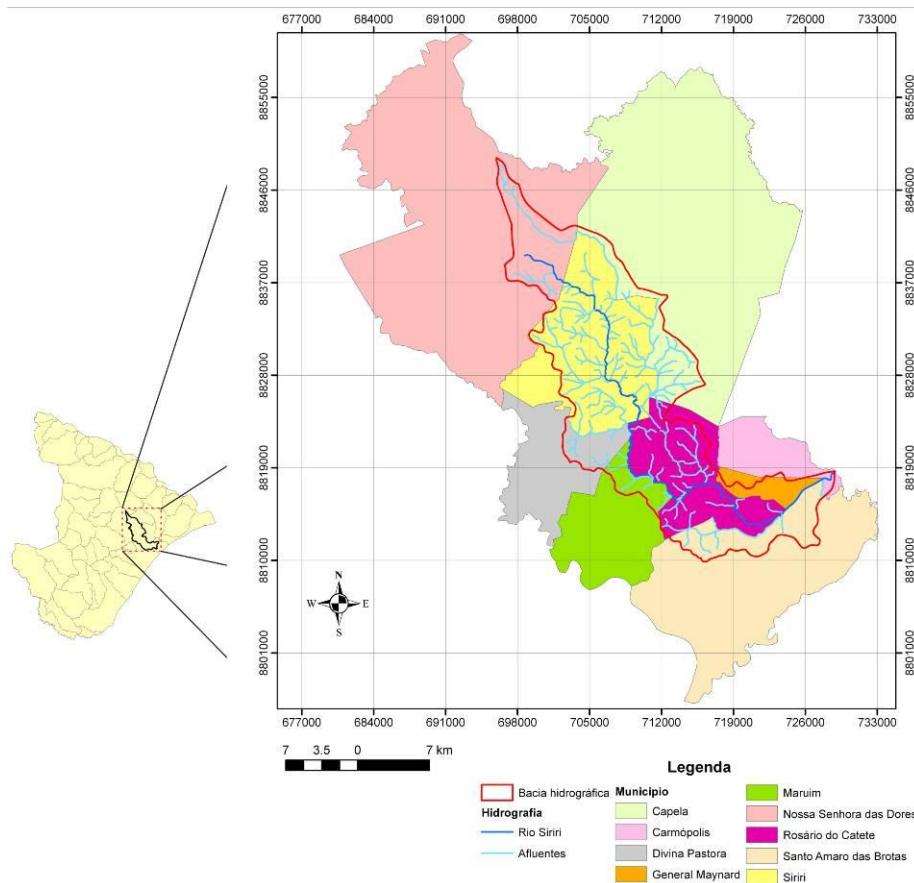


Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do Rio Siriri no Estado de Sergipe.

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, os tipos climáticos presentes na região são o clima tropical com estação seca no inverno (Aw) e clima semi-árido quente (Bsh) [12]. Na região litorânea até a região central da sub-bacia (município de Siriri), há a predominância do tipo climático Aw, apresentando temperatura média anual de 25,3°C e precipitação pluvial média anual de aproximadamente 1.460mm, e período chuvoso de março a agosto. Na região noroeste da sub-bacia, predomina as condições climáticas relacionadas com o tipo climático Bsh, com temperatura média anual de 25°C, precipitação pluvial média anual de aproximadamente 1.050mm e período chuvoso de março a agosto [13].

Na área existem três sistemas aquíferos: o aquífero Sergipe, representado pelo Membro Taquari/Maruim da Formação Riachuelo, que representa um sistema cárstico, o Barreiras representado pelo próprio Grupo Barreiras e que consiste num sistema aquífero do tipo granular, e o terceiro aquífero que é um sistema do tipo fissural [11]. Na bacia do Rio Siriri existem atualmente em operação 60 poços tubulares públicos e privados que são utilizados para irrigação, abastecimento doméstico e industrial, estando a maioria perfurados em Argissolo e no sistema aquífero granular [11, 14].

Os dados de geomorfologia e declividade indicam que aproximadamente 50% da área contêm regiões planas a suavemente onduladas e relevo tabular. A sub-bacia apresenta cerca de 75% de sua área entre cotas variando de 0 a 150 m de altitude.

No tocante à geologia local, observa-se a predominância de rochas sedimentares (areia, arenito e argilito arenoso) compondo a litologia do sistema aquífero granular. Nesta região, existem 37 poços tubulares com nível estático médio de 9,82 metros [11, 14]. Na área correspondente ao sistema aquífero cárstico, são encontrados os litotipos folhelho, calcário, calcilutito e calcarenito, apresentando 23 poços tubulares, com nível estático médio de 8,58 metros. Na área do aquífero fissural, não foram identificados poços tubulares cadastrados e os litotipos presentes são micaxisto, folhelho e quartzito [11, 14].

De acordo com Jacomine et al. [15], são quatro as classes de solos encontrados na área da sub-bacia do Rio Siriri: Latossolos, Neossolos, Argissolos e Vertissolos. Os Argissolos ocupam

aproximadamente 65% da área e têm como característica peculiar a presença do horizonte B textural, que reduz a capacidade de infiltração de água no solo.

Na sub-bacia hidrográfica do Rio Siriri há presença de grandes áreas agrícolas e remanescentes florestais que juntos ocupam 67% da área. Já as pastagens representam aproximadamente 30% da área total, estando localizadas principalmente no terço inferior da bacia. As áreas urbanas e com várzeas não são representativas na região. Na Figura 2, são apresentados todos os mapas utilizados no presente trabalho.

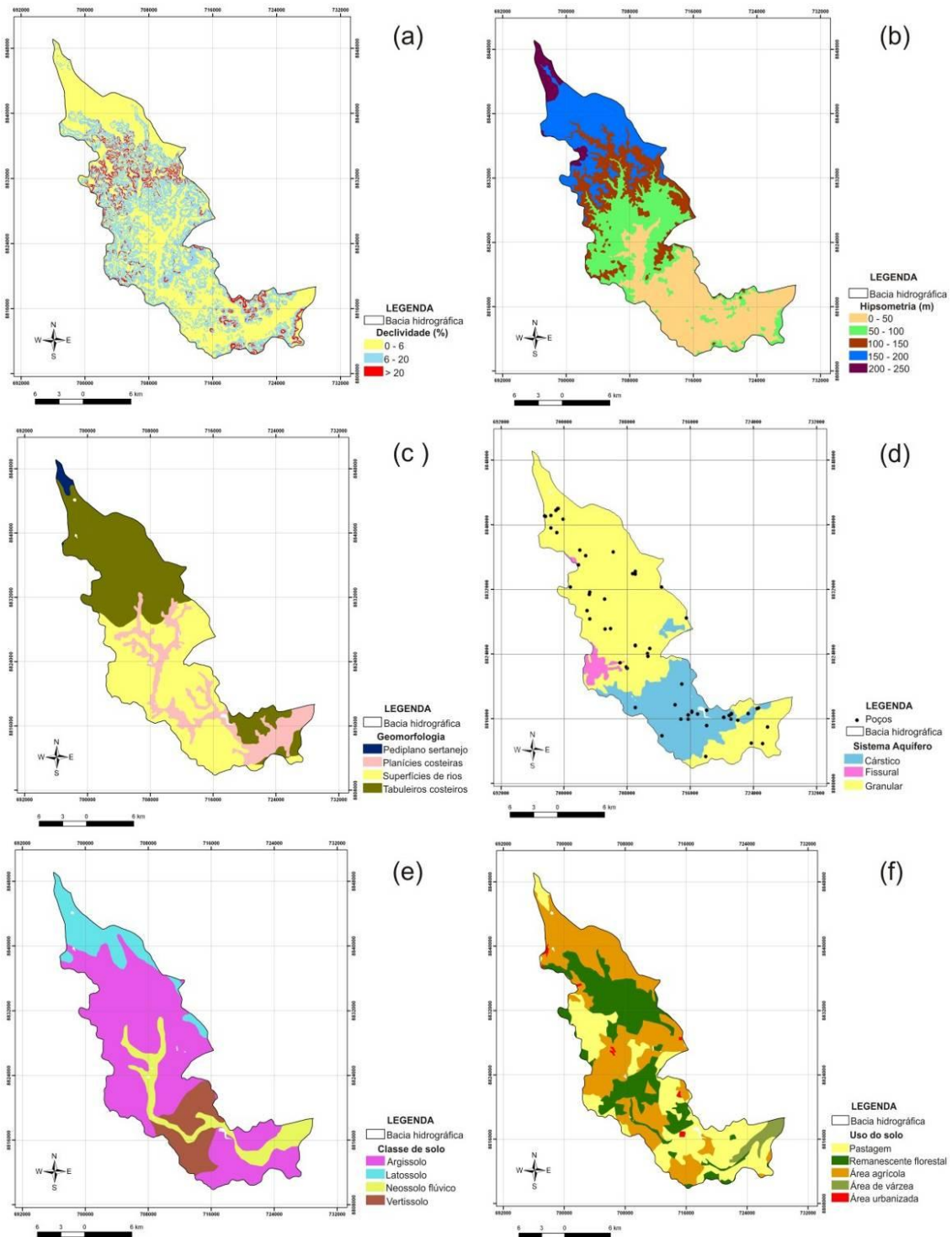


Figura 2: Mapa de declividade (a); Mapa de hipsometria (b); Mapa de geomorfologia (c); Mapa dos tipos aquíferos e poços (d); Mapa de classes de solo (e); e Mapa de uso do solo (f).

## 2.2 Delimitação do potencial de recarga subterrânea

Todos os dados primários utilizados para confecção do mapa das potenciais áreas de recarga foram manipulados por meio do uso do Sistema de Informações Geográficas ArcGIS em sua versão 9.3 licenciado pela Universidade Federal de Lavras.

Foi utilizada uma imagem da bacia oriunda do projeto SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) com resolução de 90 x 90 m para construção do MDE (Modelo Digital de Elevação). Com os dados do MDE, foram gerados os mapas hipsométricos e de declividade (em porcentagem) para a área de estudo.

O mapa hipsométrico é resultante do fatiamento dos dados de cotas obtidos do MDE, onde foram construídas classes de 0 a 300 m sendo cada classe subdividida em 50 m. Já o mapa de declividade foi construído com procedimento semelhante seguindo uma adaptação da metodologia proposta por De Biase [16], conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Correlação entre classes de declividade e relevo.

Classe de declividade (%)	Relevo
0 - 6	Várzea, plano a suave ondulado.
6 - 20	Suave ondulado a forte ondulado.
> 20	Forte ondulado a montanhoso.

Fonte: De Biase [16].

Os mapas hipsométricos e de declividade da bacia foram associados aos mapas temáticos de geomorfologia na escala de 1:500.000 do ano 2000 elaborado pela JICA, classe de solo na escala de 1:400.000 do ano 2000 elaborado pela EMBRAPA/SUDENE, uso e cobertura do solo na escala de 1:500.000 do ano de 2008 elaborado a partir da classificação de imagens do satélite SPOT, tipos de aquífero na escala de 1:2.500.000 elaborado pela CPRM, e rede de drenagem na escala de 1:100.000 elaborado a partir de cartas topográficas do IBGE, todos obtidos do Atlas Digital sobre os Recursos Hídricos de Sergipe [11].

Foi realizado um processo de reamostragem dos pixels a fim de equiparar os dados obtidos em diferentes escalas espaciais, onde a escala final adotada neste estudo foi de 1:500.000.

Cada mapa temático foi dividido em classes e para cada classe foi atribuído um peso onde o menor valor do peso significa, em termos qualitativos, uma menor chance de favorecer o processo de recarga na bacia hidrográfica, enquanto que o peso máximo representa uma maior chance de favorecer o referido processo. Valores intermediários dos pesos indicam chances medianas da classe favorecer o processo de recarga. Na Tabela 2 estão expressos os valores dos pesos atribuídos para cada classe de cada mapa temático empregado no presente estudo.

O potencial de recarga da bacia foi definido a partir do cruzamento das classes entre os mapas temáticos conforme adaptação das metodologias sugeridas por Chiaranda [17] e Menezes [18]. Foi atribuído a todos os mapas temáticos o mesmo grau de importância na ponderação do potencial de recarga para a bacia hidrográfica do Rio Siriri.

Os valores dos pesos para cada classe temática foram trabalhados pixel a pixel, segundo a Equação 1, de forma a gerar o valor correspondente ao potencial de recarga.

$$AR = P_{GEOM} \times P_{HIP} \times P_{DEC} \times P_{US} \times P_{CS} \times P_{GEO} \times P_{RD} \quad (1)$$

Em que:

$AR$  = valor do potencial de recarga;

$P_{GEOM}$  = peso associado à categoria geomorfologia;

$P_{HIP}$  = peso associado à categoria hipsometria;

$P_{DEC}$  = peso associado à categoria declividade;

$P_{US}$  = peso associado à categoria uso e cobertura do solo;

$P_{CS}$  = peso associado à categoria classe de solo;

$P_{GEO}$  = peso associado à categoria geologia;

$P_{RD}$  = peso associado à categoria rede de drenagem.

Tabela 2: Distribuição dos pesos por classe para cada tipo de mapa utilizado.

Mapa Temático	Classe	Peso
Geomorfológico	Pediaplano sertanejo	3
	Tabuleiros costeiros	3
	Superfícies de rios	2
	Planície costeira	1
Hipsométrico	0 – 50	1
	50 – 100	1
	100 – 150	2
	150 – 200	2
	200 – 250	3
Declividade	0 – 6	3
	6 – 20	2
	> 20	1
Uso e cobertura do solo	Remanescente florestal	3
	Área agrícola	3
	Pastagem	2
	Área de várzeas	1
	Área urbanizada	0
Classe de solo	Argissolo	2
	Latossolo	3
	Neossolo Flúvico	2
	Vertissolo	1
Geologia (Sistema aquífero)	Granular	3
	Cárstico	2
	Fissural	1
Rede de drenagem	Curso de rios	0
	Outras áreas	1

Foram definidas três classes para representar, qualitativamente, o potencial de recarga para a bacia hidrográfica do Rio Siriri. Para valores de *AR* menores ou iguais a 63 a área foi classificada como de baixo potencial, já para valores de *AR* superiores a 144 a área foi classificada como de alto potencial de recarga. Os valores intermediários foram enquadrados na classe de médio potencial de recarga, conforme Tabela 3.

Tabela 3: Classificação do potencial das áreas de recarga.

Classificação	Faixa de valores (Adimensional)
Alto potencial	145 - 729
Médio potencial	64 - 144
Baixo potencial	0 - 63

Com base no enquadramento proposto na Tabela 3 foi confeccionado o mapa das áreas potenciais de recarga para a bacia hidrográfica do Rio Siriri, identificando onde estão as áreas mais favoráveis a este processo e foi calculada a porcentagem destas em relação à área total da bacia.

Neste estudo, foi admitido o peso máximo na categoria de uso e cobertura do solo para as classes remanescente florestal e área agrícola devido à existência de divergências na literatura técnico-científica, em que diversos autores apontaram em seus trabalhos a melhor eficiência dessas coberturas na recarga do solo [19, 20, 21, 22].

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4, apresentam-se as áreas e a representatividade correspondente para cada uma das variáveis analisadas na bacia hidrográfica do Rio Siriri.

Tabela 4: Distribuição da área para cada classe temática.

Categoria	Classe	Área	
		km <sup>2</sup>	%
Geomorfologia	Pediaplano sertanejo	4,75	1,14
	Tabuleiros costeiros	171,65	41,23
	Superfícies de rios	165,20	39,68
	Planície costeira	74,74	17,95
Hipsometria	0 – 50	138,16	33,17
	50 – 100	104,07	25,00
	100 – 150	72,19	17,34
	150 – 200	88,04	21,15
	200 – 250	13,89	3,34
Declividade	0 – 6	227,17	54,57
	6 – 20	165,36	39,72
	> 20	23,79	5,71
Uso e cobertura do solo	Remanescente florestal	110,15	26,46
	Área agrícola	168,31	40,43
	Pastagem	124,21	29,83
	Área de várzeas	11,09	2,66
	Área urbanizada	2,58	0,62
Classe de solo	Argissolo	265,60	63,79
	Latossolo	51,49	12,37
	Neossolo Flúvico	49,77	11,95
	Vertissolo	49,48	11,89
Geologia (Sistema aquífero)	Granular	303,01	72,77
	Cárstico	101,78	24,45
	Fissural	11,55	2,78
Rede de drenagem	Curso de rios	6,46	1,56
	Outras áreas	409,88	98,44

O predomínio de regiões planas na sub-bacia do Rio Siriri favorecem os processos de infiltração da água no solo. Segundo Menezes [18], em condições equiparáveis, quanto maior for a declividade de uma área, maior será o escoamento superficial, menor a infiltração e, conseqüentemente, menor o valor relativo à recarga de aquíferos, sendo o contrário válido para relevos mais planos. Botelho e Silva [23] afirmam que a associação da declividade com a geomorfologia estabelece áreas de convergência e divergência dos fluxos, determinando pontos de maior ou menor infiltração nos perfis delimitando zonas preferenciais de recarga.

A sub-bacia apresenta um predomínio de baixas altitudes, essa é uma característica importante para ser analisada, visto que grandes variações de altitude implicam modificações nas características climáticas da região e como consequência modificações nos regimes pluviométricos e na dinâmica da recarga dos aquíferos. Na bacia do Rio Siriri, o regime pluviométrico não é um fator limitante devido à boa distribuição dos eventos de chuva ao longo do ano, com precipitação média anual atingindo 1.500 mm.

O domínio de áreas agrícolas e remanescentes florestais, principalmente no terço superior da bacia estudada, favorecem os processos de recarga dos sistemas aquíferos existentes. Estas áreas contribuem significativamente para elevação do potencial de recarga na bacia. Contudo, vale ressaltar que outro fator primordial para esta análise é o estado de desenvolvimento em que

essas coberturas se encontram, sendo necessárias análises empíricas na região de estudo por meio de medições *in situ*, que não foram realizadas durante a execução deste estudo.

As áreas com pastagem como cobertura do solo estão localizadas principalmente no terço inferior da bacia, região com baixa altitude (Figuras 2b e 2f), que, associadas, apresentam baixo potencial de recarga.

Um fator de grande relevância na análise dos processos de recarga de aquíferos é a classe de solo da área. Solos com alta capacidade de infiltração, profundos e com boa drenagem favorecem a recarga dos aquíferos, enquanto solos mal estruturados, apresentando camadas impermeáveis interferem de forma negativa no processo [22].

Das quatro classes, os Latossolos apresentam características físicas que melhor favorecem a recarga subterrânea por serem solos profundos e bastante permeáveis devido a melhor agregação de suas partículas, oferecendo boas condições para infiltração da água. Os Neossolos também são solos com características que favorecem a infiltração, contudo, na área em estudo, este tipo de solo encontra-se distribuído principalmente ao longo dos cursos dos rios, onde ocorrem os processos de descarga, característica essa que implica redução no potencial de infiltração da água devido à saturação do solo. Os Argissolos influenciaram negativamente no potencial de recarga da bacia, visto que apresentam, em geral, capacidade de infiltração reduzida devido a presença do horizonte B textural, que reduz a capacidade de infiltração de água no solo em comparação com as classes de solo anteriores [15].

O predomínio de rochas sedimentares na área estudada, representada pelo sistema de aquífero granular, favorece os processos de recarga do aquífero devido à boa porosidade peculiar dessas litologias. A presença de folhelho, calcarenito, calcilito, micaxisto e quartzito, rochas de baixa porosidade natural, associados às outras características edafoclimáticas da região, reduzem drasticamente o potencial de recarga nas áreas de ocorrência dos aquíferos cárstico e fissural.

A rede de drenagem natural não ocupa uma área significativa da bacia a ponto de interferir na recarga dos aquíferos.

Na Tabela 5, estão apresentadas as áreas e a representatividade correspondente para cada uma das classes que exprimem o potencial de recarga da bacia hidrográfica do Rio Siriri.

Tabela 5: Distribuição das áreas potenciais de recarga na bacia hidrográfica do Rio Siriri.

Classificação	Área	
	(km <sup>2</sup> )	(%)
Alto Potencial	134,26	32,24
Médio Potencial	119,89	28,80
Baixo Potencial	162,19	38,96

Pelas características analisadas, 61,04% da área da sub-bacia oferece condições favoráveis à recarga subterrânea, com regiões mais favoráveis concentradas principalmente em sua cabeceira, fato este importante no que se refere principalmente à manutenção das nascentes e na perenidade dos rios, conforme pode ser observado na Figura 3. É nesta região que também são encontrados os melhores índices para todas as variáveis analisadas neste estudo.



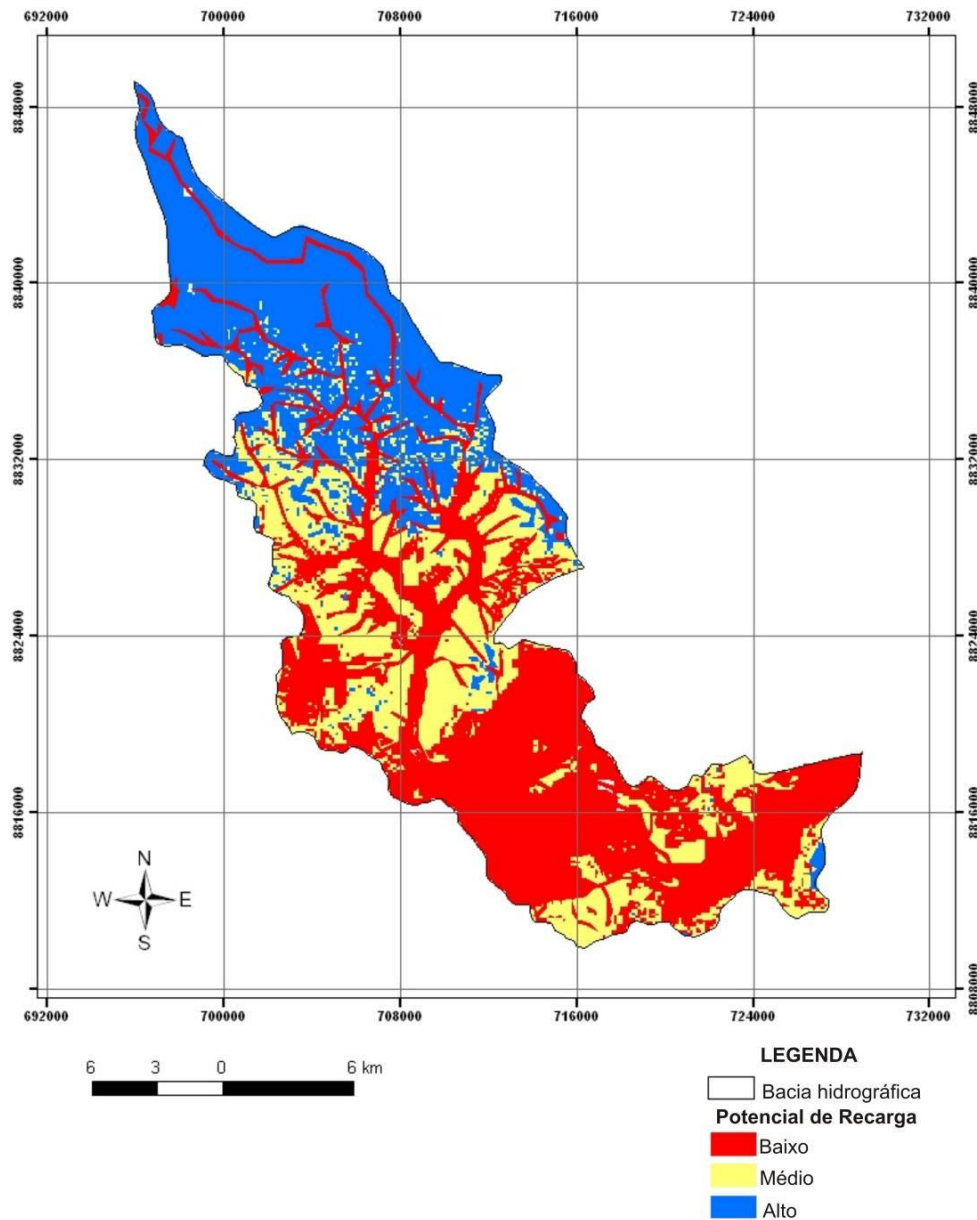


Figura 3: Mapa das áreas potenciais de recarga na bacia hidrográfica do Rio Siriri.

#### 4. CONCLUSÕES

A bacia hidrográfica do Rio Siriri apresenta um bom potencial de áreas de recarga subterrânea, tomando-se como base informações fisiográficas e edafoclimáticas peculiares à região. Correspondendo a 254,15 km<sup>2</sup>, 61,04% da área da bacia foram classificadas como de médio a alto potencial de recarga subterrânea. O mapa da área de recarga demonstra uma concentração de área de alto potencial de recarga localizada no extremo norte da bacia.

A metodologia empregada neste estudo mostrou-se de fácil aplicação permitindo resultados coerentes com as características da região, sendo o emprego de ferramentas SIG fundamental para a eficiência e a obtenção de resultados úteis ao manejo da bacia e do uso racional da água subterrânea.

1. FAO. Fundo das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. Descubrir el potencial del agua para la agricultura. Roma, 2003. 72 p.

2. Bouwer H. Integrated water management for the 21<sup>st</sup> century: Problems and Solutions. *Food, Agriculture & Environment*, v. 1, n. 1, p. 118-127, 2003.
3. Vasconcelos SMS. Avaliação da recarga subterrânea através da variação do nível potenciométrico no aquífero Dunas/Paleodunas, Forataleza, Ceará. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 10, n. 2, 2005.
4. Chaves MB, Santos JC, Lima JT, Filho JCCM, Nobre RCM, Nobre MMM. Classificação de imagem CBERS para mapeamento de áreas de recarga de mananciais subterrâneas. *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 14., Natal, 2009. Anais... Natal, INPE, 2009, p. 4679-4686.
5. Jyrkama MI, Sykes JF. The impact of climate change on spatially varying groundwater recharge in the grand river watershed (Ontario). *Journal of Hydrology*, v. 338, p. 237-250, 2007.
6. Alves MC, Botelho AS, Pinto LVA, Pozza, EA, Oliveira MS, Ferreira E, Andrade H. Variabilidade especial de variáveis geobiofísicas nas nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 527-535, 2008.
7. Bolfe EL, Bolfe APF, Siqueira ER. Dinâmica do uso e ocupação do solo: Subsídio à recuperação de áreas degradadas em Japarutuba, SE. *Revista Geomática*, v. 3, n. 1, p. 13-29, 2008.
8. Almeida AQ, Santos AR, Pezzopane JEM. Comparação entre áreas de preservação permanente demarcadas de diferentes escalas topográficas. *Revista Capixaba de Ciência e Tecnologia*, n. 3, p. 1-8, 2007.
9. Donha AG, Souza ACP, Sugamoto ML. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 10, n.1, p. 175-181, 2006.
10. Campos S, Araújo Júnior AA, Barros ZX, Cardoso LG, Piroli EL. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao uso da terra em microbacias hidrográficas, Botucatu-SP. *Engenharia Agrícola*, v. 24, n. 2, p. 431-435, 2004.
11. SERGIPE. Superintendência de Recursos Hídricos. Atlas digital sobre os recursos hídricos de Sergipe. Aracaju, 2011. CD-ROM.
12. Peel MC, Finlayson BL, McMahon TA. Updated world Köppen-Geiger climate classification map. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 11, p. 1633-1644, 2007.
13. SERGIPE. Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia. Informes municipais. Aracaju, 2000. 75 p.
14. Resende RS, Cruz MAS, Amorim JRA. Atlas de qualidade da água subterrânea no Estado de Sergipe com fins de irrigação. Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. 46 p.
15. Jacomine PKT, Montenegro JO, Ribeiro MR, Formiga RA. Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do estado de Sergipe. Recife, Embrapa/SDN, 1975. 505 p. (Boletim Técnico, 36; Série Recursos de solos, 6).
16. De Biase M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 6, p. 45-60, 1993.
17. Chiaranda R. Usos da terra e avaliação da capacidade potencial de armazenamento de água da bacia do Rio Cuiabá – MT. Curitiba, 2002. 362 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná.
18. Menezes MD. Levantamento de solos em sub-bacias hidrográficas como apoio para avaliação do uso da terra e da potencialidade de recarga de aquíferos. Lavras, 2007. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras.
19. Jyrkama MI, Sykes JF, Normani SD. Recharge estimation for transient groundwater modeling. *Ground Water*, v. 40, n. 6, p. 841-855, 2002.
20. Scanlon BR, Healy RW, Cook PG. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*, v. 10, n. 1, p. 18-39, 2002.
21. Pinto LVA. Caracterização física da sub-bacia do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG, e propostas de recuperação de suas nascentes. Lavras, 2003. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras.
22. Souza ALN, Fernandes VH, Carvalho LG, Antunes MAH. Geoprocessamento para estudos de potencial hidrogeológico. *CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA*, 21., Belo Horizonte, 2003. Anais... Belo Horizonte, SBC, 2003.
23. Botelho GM, Silva AS. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: Carlos A, Guerra, AJT (Organizadores) Reflexões sobre a geografia física no Brasil. Bertrand Brasil, p. 153-191, 2004.