

APLICAÇÃO DE SIG NA GESTÃO DE CONFLITOS PELO USO DA ÁGUA NA PORÇÃO GOIANA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO MARCOS, MUNICÍPIO DE CRISTALINA - GO

André BRUNCKHORST¹, Edilson de Souza BIAS¹

(1) Programa de Pós-Graduação em Geoprocessamento e Análise Ambiental, Instituto de Geociências (IGD/UNB), Universidade de Brasília (UNB), Campus Darcy Ribeiro, 70910-900, Brasília, DF. Endereços eletrônicos: edbias@unb.br; andre.brunck@gmail.com.

Resumo
Introdução
Área de Estudo
Caracterização do Conflito
Material e Métodos
Mapa de declividade
Mapa de distância dos cursos hídricos
Mapa de solos
Mapa de uso e ocupação do solo
Mapa de aptidão à irrigação
Valoração do Potencial Produtivo
Resultados e Discussão
Considerações Finais
Referências Bibliográficas

RESUMO - O presente estudo teve por objetivo identificar e valorar áreas agrícolas aptas para a irrigação na porção goiana da Bacia Hidrográfica do Rio São Marcos, Município de Cristalina – GO. Região na qual prevalece uma situação representativa de conflito envolvendo produção de alimentos e geração de energia hidrelétrica. Aplicando o método da integração de dados a partir de uma matriz de pesos, foi processado o Mapa de Áreas Aptas à Irrigação, resultante da integração de quatro variáveis ambientais: declividade, disponibilidade hídrica, solo e, uso e ocupação do solo. Após o processamento, foi efetuada a classificação dos dados em quatro classes de aptidão: boa, regular, restrita e inapta. Comparados com o valor da energia elétrica a ser produzida pela Usina Hidrelétrica de Energia (UHE) Batalha, os resultados indicaram perda expressiva da produção de alimentos, em detrimento do empreendimento hidrelétrico.

No entanto, mais elementos não de ser valorados, uma vez que o desenvolvimento de outras importantes atividades econômicas necessitam da geração de energia elétrica. Neste contexto, a aplicação das ferramentas de geoprocessamento se mostra bastante útil, permitindo a modelagem e análise ambiental do conflito em questão.

Palavras-chave: Sistema de Informação Geográfica (SIG), Matriz de Pesos, Bacia Hidrográfica, Irrigação, Conflitos.

ABSTRACT - The objective of the present study was to identify and to appraise potential irrigation for agricultural areas in the Goiás State region of the Watershed of São Marcos in the Municipal district of Cristalina - GO. In this area there is an emblematic situation of conflict involving food production and the generation of hydroelectric power. By integrating four environmental variables namely declivity, hydric availability, soil and the use and occupation of the soil, potential irrigation areas were mapped out applying the data integration method using a position weights matrix. This potential was then classified into four classes - good, regular, limited or inapt. Compared to the expected value of electricity production from the Batalha Hydroelectric Power Station, the results indicated expressive losses in food production due to the hydroelectric enterprise. Additional elements must however be taken into consideration as the development of other important economic activities requires the generation of electricity. The application of geoprocessing tools proved rather useful here, enabling environmental modelling and analysis of the conflict in question.

Keywords: GIS, Weight Matrix, Watershed, Irrigation, Conflicts.

INTRODUÇÃO

Nos atuais debates relacionados com a gestão dos recursos hídricos, está cada vez mais evidente que toda a produção de alimentos necessária à população do planeta não será suficiente sem a utilização da irrigação (BRASIL, 2008; CRISTOFIDIS, 2005). A segurança alimentar depende cada vez mais da produção agrícola em áreas irrigadas, o que a torna, irrevogavelmente, dependente da segurança hídrica. Em documento produzido pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – FAO (2012) pode-se verificar que 80% dos produtos necessários

para satisfazer as necessidades da população mundial, nos próximos 25 anos, serão providos pelos cultivos irrigados.

Apesar de o Brasil ser detentor de aproximadamente 15% das águas doces do planeta, 70% desses recursos estão na bacia Amazônica, onde vivem somente 7% da população brasileira. Outro dado importante é que mais da metade da água consumida no Brasil é utilizada na agricultura irrigada. Apesar de o país ter apenas 5% de sua área cultivada de forma irrigada, esta representa 35% do valor

econômico da produção nacional de alimentos (MANTOVANI *et. al*, 2007).

A agricultura irrigada depende inteiramente da disponibilidade de recursos hídricos, tornando-se cada vez mais evidentes os conflitos com o abastecimento humano e a geração de energia elétrica. O consumo de água por um hectare irrigado, dependendo da cultura, pode chegar a 25.000 L/dia (CRISTOFIDIS, 2005), quantidade capaz de abastecer mais de 100 pessoas.

Os conflitos podem mais comumente apresentar-se de duas formas: pela utilização agrícola e subsequente diminuição dos volumes dos reservatórios de usinas hidrelétricas, comprometendo a geração de energia; ou pela geração de energia a partir de reservatórios fornecedores de água para irrigação, diminuindo a disponibilidade para irrigação.

Em outros países a prioridade é voltada ao abastecimento humano e animal, seguida da utilização da água para a produção agrícola (BRASIL, 2008). Na crise energética e hídrica ocorrida no final do século passado no Brasil, restringiu-se a disponibilidade de água para os projetos de irrigação por duas razões: a própria

escassez desse recurso natural e a prioridade conferida à geração de energia (SILVA, 2010).

Para minimizar conflitos envolvendo o uso múltiplo da água, os Planos de Recursos Hídricos (PRH) aprovados pelos Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH) orientam a gestão do acesso, uso e conservação da água. Diagnósticos que reflitam as particularidades e realidade de cada bacia são componentes fundamentais na elaboração destes planos. As funcionalidades dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) permitem e facilitam as análises necessárias às atividades de gerenciamento de recursos hídricos (BIELENKER, 2012), o que torna a utilização destes sistemas em um importante aliado à tomada de decisões.

Neste sentido, o presente estudo busca por meio do uso de SIG, analisar e valorar o potencial produtivo de áreas aptas à irrigação por pivô central na porção goiana da Bacia Hidrográfica do Rio São Marcos, em uma situação representativa de conflito envolvendo produção de alimentos e geração de energia elétrica.

ÁREA DE ESTUDO: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO MARCOS

O Rio São Marcos é um dos principais tributários da margem direita do Rio Paranaíba, sendo limítrofe estadual entre Goiás e Minas Gerais. Sua Bacia Hidrográfica está localizada na região central do Brasil, abrangendo terras dos Estados de Minas Gerais, Goiás e Distrito Federal, com área de 1.214.000 hectares. Segundo o método Otto Pfafstetter (Ottobacias) para delimitação de bacias hidrográficas, a Bacia Hidrográfica do Rio São Marcos encontra-se no nível 5 de compartimentação, identificada pelo código 84999 (ANA, 2007).

O presente estudo contempla a porção goiana da Bacia Hidrográfica do Rio São Marcos, localizada no município de Cristalina - GO, a montante da Usina Hidrelétrica de Energia (UHE) Batalha - Eletrobrás Furnas, com área de 409.623 hectares, entre as coordenadas UTM 214.972 e 273.678 E, 8.079.629 e 8.223.787 N, fuso 23S (Figura 1).

Distante cerca de 130 km de Brasília-DF, o município de Cristalina pertence a Região

Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (RIDE). No período de 2000 a 2010, apresentou um crescimento populacional de 36,5%, atingindo a marca de 48.463 habitantes (IBGE, 2013), sendo um dos municípios que mais crescem no Estado. Sua economia destaca-se na produção agrícola que, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2013) foi o município brasileiro com o maior valor adicionado bruto (VAB) da atividade agropecuária em 2010.

Segundo a classificação climática proposta por Köppen, a região possui um clima do tipo Cwa, isto é, tropical de altitude, com chuva nos meses de outubro a maio, e com período seco de junho a setembro. Cristalina apresenta precipitação pluviométrica anual de 1.600 mm, temperatura média anual de 20,5 °C e umidade relativa em torno de 40% no inverno e 70% no verão (SCHMIDT e VALIATI; 2006).

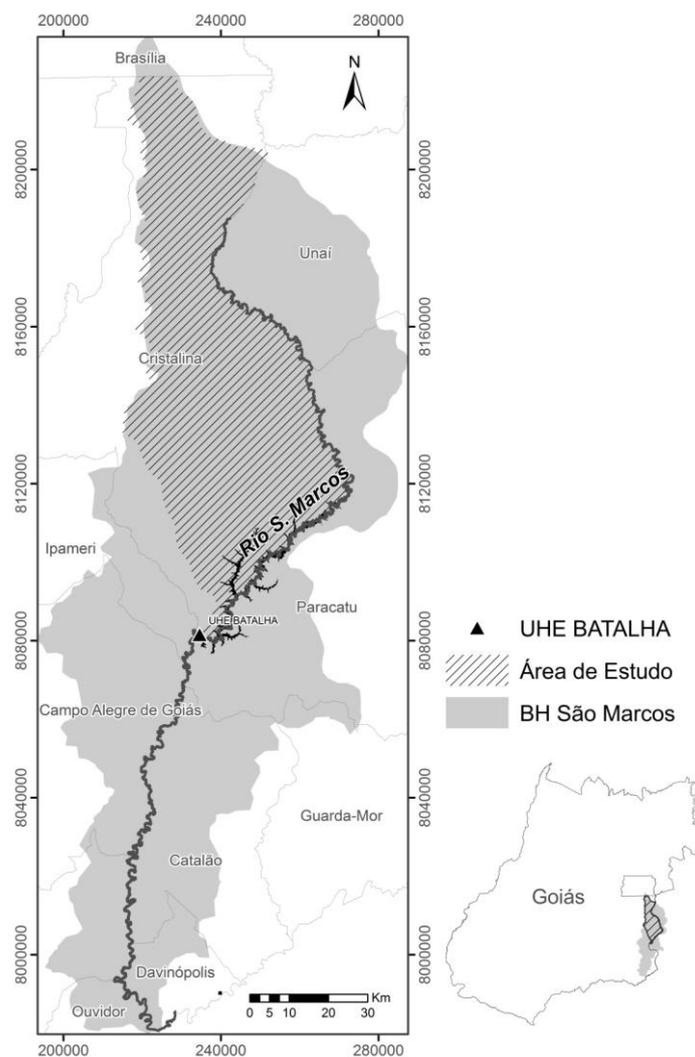


Figura 1. Área de estudo

A área da Bacia Hidrográfica do Rio São Marcos, está inserida na unidade geomorfológica Planalto Central Goiano, composta pelas subunidades: Superfícies Aplainadas ou chapadas e, o Planalto Tocantins – Paranaíba. As chapadas apresentam declividade de até 3%, se desenvolvem em terrenos terciários e quaternários de cobertura detrítico-laterítica nas cotas de 900 a 1.000m, apresentam vales rasos com fundos planos e vertentes suaves, separados por interflúvios amplos. O Planalto do Alto Tocantins – Paranaíba engloba diferentes feições geomorfológicas, predominando os relevos dissecados e heterogêneos com morfologia de formas convexas, aguçadas e tabulares, onde as cotas altimétricas situam-se entre 650 e 850m (FURNAS, 2006).

As principais classes de solos reconhecidas na bacia são: latossolo, cambissolo e o plintossolo. Os Latossolos

Vermelho-Amarelos associados aos Latossolos Vermelhos de textura argilosa, desenvolvidos em relevo plano e suave ondulado, compreendem os solos de melhor aptidão agrícola, devido às suas características de profundidade, permeabilidade e de capacidade de retenção de umidade. Nas áreas de relevo mais dissecado, desenvolvem-se, predominantemente, os Cambissolos Háplicos e, nos morros mais íngremes, predominam os Cambissolos de textura cascalhenta. Os Plintossolos representam solos que podem ocorrer associados a relevo plano à suave em áreas onde a oscilação do lençol freático, juntamente com a dificuldade de movimentação vertical da água, proporciona a formação de plintita e o aparecimento de mosqueados (GOIAS, 2008).

Quanto à vegetação, a Bacia Hidrográfica do Rio São Marcos encontra-se na região de domínio do Cerrado, que segundo Ribeiro e

Walter (1998) é um bioma que apresenta fisionomias que englobam formações florestais,

savânicas e campestres.

CARACTERIZAÇÃO DO CONFLITO

O plano de recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (PRH-Paranaíba) relata a presença, na bacia do rio São Marcos, de um dos mais significativos conflitos de usos de recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba: o uso hidrelétrico da UHE Batalha e a demanda atual e futura da irrigação local (ANA, 2011).

UHE Batalha (Figura 2 e Tabela 1) teve sua construção iniciada em meados de 2008 pela empresa Eletrobras/Furnas, com previsão de potência instalada de 52,4 MW e conclusão

da obra prevista para 2013. O eixo da barragem localiza-se no rio São Marcos na divisa dos municípios de Cristalina - GO e Paracatu - MG, sendo um rio de dominialidade federal (ANA, 2013). Após a conclusão da obra, a maior disponibilidade não será apenas de energia, mas também de água. A barragem de 50 m de altura fechará o vale do rio, formando um reservatório de 35,97 km de extensão e área de 145,92 km², com volume que chegará a 1.782 milhões de metros cúbicos (FURNAS, 2005).



Figura 2. UHE Batalha (Foto: Cláudio Almeida, 2013)

Tabela 1. Características gerais da UHE Batalha (FURNAS, 2005; ANNEL, 2005).

Características	Valores
Potência Instalada (MW)	52,4
Energia Firme (MW médios) ¹	48,8
Energia Contratada (MW médios) ²	47,0
Preço de Venda (R\$/MWh)	114,37
R\$/MWano ³	46.443 mil
Comprimento do Reservatório	35,97 Km
Área inundada	145,92 Km ²
Cota média do Reservatório	800 m

¹ Energia Firme: energia média gerada no período crítico do Sistema Interligado Nacional, que inicia-se em junho de 1949 e termina em novembro de 1956 (MME, 2004).

² Leilão nº 002/2005 (ANEEL, 2005).

³ R\$/MWano = Energia Contratada (MWmédios) * Preço de Venda (R\$/MWh) * 8.760h/ano.

Quanto à irrigação, há poucos dados oficiais quantitativos da atividade no Brasil, porém é notória a intensidade dos investimentos privados que a região da Bacia Hidrográfica São Marcos tem recebido nos últimos anos. Apenas o município de Cristalina possui 668 pivôs centrais, em uma área de 51.982 hectares (informação verbal)⁴. Os principais cultivos irrigados são: batata inglesa, alho, feijão, milho verde, tomate, cebola, café e trigo; enquanto que os principais cultivos de sequeiro são milho, soja, sorgo e algodão (IBGE, 2012). Observa-se que na sua maioria, os cultivos irrigados não são commodities agrícolas voltados à exportação, mas sim alimentos que compõe a cesta básica do brasileiro.

O conflito pelo uso da água na Bacia Hidrográfica do Rio São Marcos entre os irrigantes e a UHE Batalha se institui por meio do Artigo 1º da Resolução nº562/2010 (ANA, 2010a) da Agência Nacional de Águas (ANA), que estabeleceu o Marco Regulatório (MR), composto por um conjunto de regras gerais sobre o uso da água em uma bacia, que passa a valer como um marco referencial de regularização de seu uso e a partir da qual será desenvolvida a gestão dos seus recursos hídricos. Com o MR, a ANA e os órgãos gestores estaduais passam a compartilhar o

gerenciamento das bacias, aplicando os instrumentos de gestão previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos (PHRH) Lei nº 9.433/1997e seu poder fiscalizador. O estabelecimento de Marcos Regulatórios do uso da água se faz necessário em bacias hidrográficas que apresentam conflitos instalados para que se criem regras para os usos da água (BRASIL, 1997).

A principal diretriz estabelecida pelo MR foi a definição da vazão média anual disponibilizada para o consumo na bacia do São Marcos, a montante da UHE Batalha, no valor máximo de 8,7 m³/s (Tabela 2). Para que essa marca fosse respeitada, definiu-se um limite de vazão média anual para cada Estado, ao qual está associado a uma área irrigada equivalente pelo método de pivô central (AIEPC), que representa a máxima vazão consumida, considerando variáveis climáticas da bacia e uma taxa de eficiência compatível com o método de pivô central (ANA, 2010a). Em seguida, a vazão anual consumida foi recalculada para 8,63 m³/s (ANA, 2010b), valor que corresponde a AIEPC de 63.500 hectares (Tabela 3), que deveria ser respeitada nas outorgas emitidas pelos órgãos envolvidos. Esta mesma resolução também prevê uma revisão do Marco Regulatório a cada cinco anos.

Tabela 2. Usos consuntivos segundo resoluções da ANA (2008, 2010a, 2010b).

Resoluções ANA	Ano/Vazões (m ³ /s)						
	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
nº 489/2008	1,62	2,08	2,69	3,49	4,53	5,89	7,67
Marco Regulatório (nº 562/2010)	-	-	-	-	-	-	8,7
nº 564/2010	7,59	8,63	9,62	10,62	11,62	12,62	13,61

Tabela 3. Área irrigada equivalente definida pelo método de pivô central (AIEPC) máxima para os estados de Goiás e Minas Gerais (ANA, 2010a).

Estado	AIEPC (ha)
Goiás	33.500
Minas Gerais	30.000
Total	63.500

⁴Informação fornecida por Alécio Maróstica, Superintendente de Irrigação da Secretaria da Agricultura, Pecuária e Irrigação do Estado de Goiás (Seagro), em Goiânia-GO, novembro de 2013.

O uso da água para irrigação, entretanto, ocorre muitas vezes sob o descumprimento da legislação, conforme as normas de orientação da PNRH. Esse descumprimento decorre principalmente por falta de ações de controle e

fiscalização, além da gestão ineficiente. Tem-se como exemplo a estimativa de que 56% dos usuários de pivôs centrais em Goiás estejam em situação irregular (SILVA, 2010).

Tabela 4. Área irrigada estimada e outorgada na Bacia Hidrográfica do Rio São Marcos (ANA, 2010c).

Domínio	Número de Pivôs	Área (ha)	%
Federal (ANA)	99	7.893	14
Estadual (GO)	302	25.813	44
Estadual (MG)	274	23.856	41
Total	675	57.562	100

A gestão consciente e responsável do uso da água na bacia do rio São Marcos deve ocorrer de forma participativa conforme determina a PNRH. O Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, por meio da sua Câmara Técnica de Planejamento Institucional, instituiu a criação do Grupo de Trabalho (GT) São Marcos (ANA, 2012), que tem como atribuições: analisar os conflitos relacionados

aos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio São Marcos, elaborar análises das ações previstas no PRH-Paranaíba para a bacia e apresentar um relatório indicando estratégias e ações necessárias à solução e mediação do conflito. Dentre os membros que compõe o GT São Marcos, fazem parte a Associação dos Irrigantes do Estado de Goiás - IRRIGO e Eletrobrás/Furnas.

MATERIAL E MÉTODOS

No desenvolvimento do presente estudo foram utilizados os seguintes materiais:

- Software de Sistema de Informação Geográfica ArcGIS 9.3 e o Software de Processamento de Imagens ENVI 4.5. Ambos disponibilizados pela ESRI^R ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (UnB).

- Limites municipais da Base Cartográfica planialtimétrica das folhas SE.23-V-A e SE.23-V-C, 1:250.000 (SIEG-Goiás / Superintendência de Geologia e Mineração – SIC, 2005).

- Drenagens da Base Cartográfica planialtimétrica das folhas SE.23-V-A e SE.23-V-C, 1:250.000 (SIEG-Goiás / Superintendência de Geologia e Mineração – SIC, 2005).

- Recorte do Mapa de Solos do Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba segundo corte das folhas SE.23-V-A e SE.23-V-C, 1:250.000 (SIEG-Goiás / Superintendência de Geologia e Mineração – SIC, 2005).

- Compartimentação do Estado de Goiás em Bacias Hidrográficas segundo metodologia do Dr. Otto Pfafstetter, 1:250.000 (SIEG-Goiás / Superintendência de Geologia e Mineração – SIC, 2006).

- Remanescentes do Bioma Cerrado, 1:250.000 (Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite – PMDBBS / IBAMA, 2011).

- Áreas Desmatadas do Bioma Cerrado, 1:250.000 (Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite – PMDBBS / IBAMA, 2011).

- Modelo Digital de Elevação – MDE Topodata, resolução espacial de 30 m. (INPE, 2008)

- Imagens Landsat-8 – Sensor Operational Land Imager (OLI) – USGS (Tabela 5).

Tabela 5. Imagens orbitais Landsat-8 utilizadas no estudo.

Órbita/Ponto	Data	Sensor	Fonte
220/72	26/10/2013	OLI	USGS/NA SA
221/71	15/09/2013	OLI	
221/72	15/09/2013	OLI	

O método adotado é apresentado no fluxograma (Figura 3), representa todas as etapas para o desenvolvimento do presente estudo.

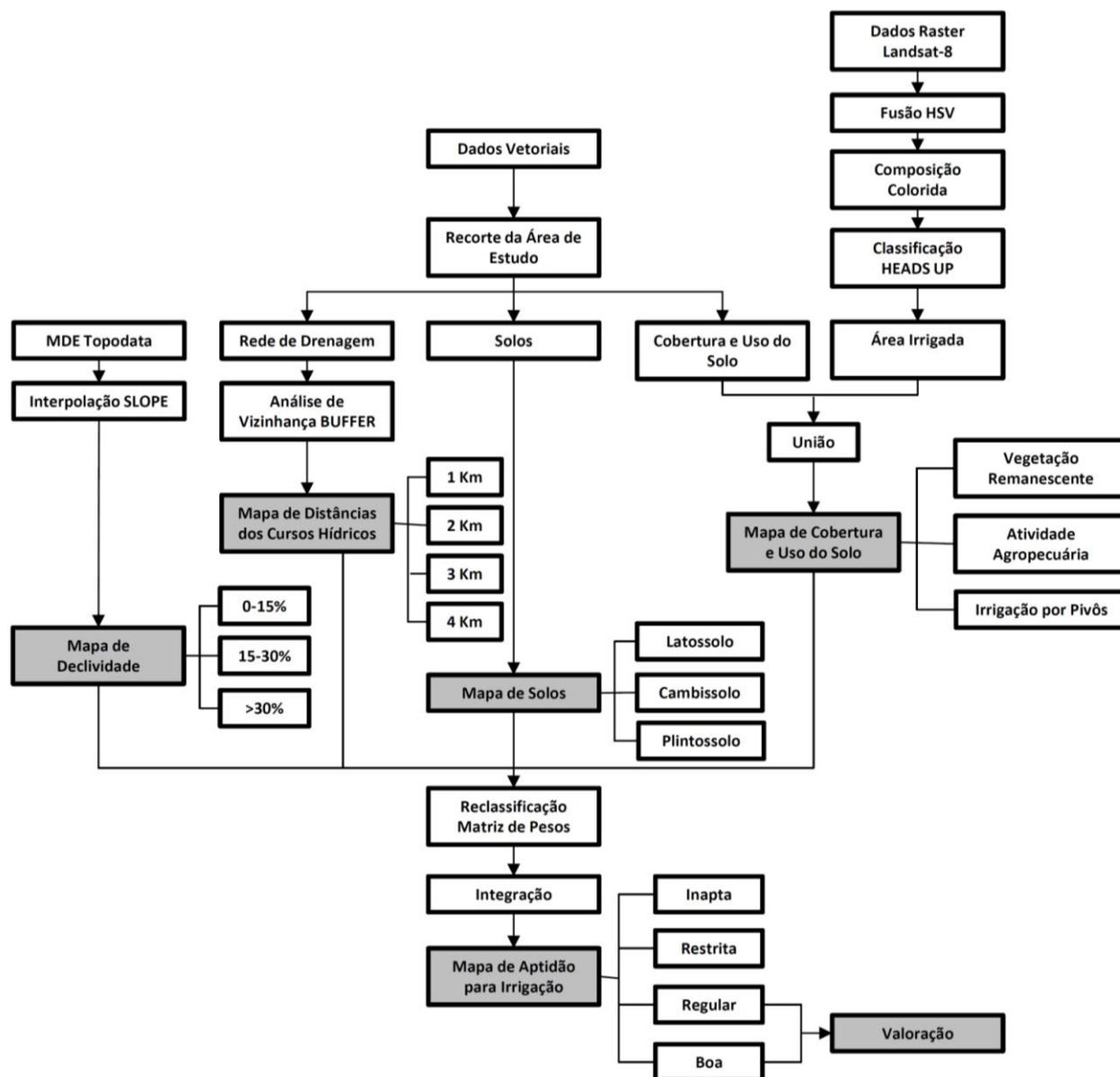


Figura 3. Fluxo metodológico

Primeiramente foi criado o polígono da área de estudo, extraído de um arquivo vetorial da Bacia Hidrográfica do Rio São Marcos, englobando o município de Cristalina.

O Mapa de Aptidão para Irrigação é resultado da integração de quatro variáveis: declividade, distância do curso hídrico, solo,

cobertura e uso e ocupação do solo. Sendo todas condicionantes para viabilizar a implantação de sistemas de pivô central.

Para cada variável foi gerado um mapa temático que, integrados por meio da aplicação da álgebra de mapas, resultou no mapa final de classes de aptidão para irrigação, sendo este o

produto da concordância entre as classes de importância.

À cada mapa temático foi atribuído diferente porcentagem de influência na decisão, calculada a partir de uma análise multicritério pelo método de comparação par a par Analytic Hierarchy Process (AHP), que basicamente estrutura o problema em níveis hierárquicos (SAATY, 1980).

Os mapas de declividade e distância do curso hídrico, uma vez que são critérios mais limitantes à implantação de pivôs centrais, obtiveram 43% da importância de decisão cada, totalizando 86%. Os 14% restantes foram atribuídos ao mapa de classes de solo.

Dentro de cada mapa, o algoritmo interpreta a relevância de cada classe em função do peso a ela atribuído, variando o peso em uma escala de “1” a “9”, em que o valor “9” indica uma classe mais adequada à irrigação por pivô central e o valor “1” uma classe menos favorável.

Mapa de declividade

Para criar o mapa com as classes de declividade foi utilizado o Modelo Digital de Elevação - MDE Topodata (INPE, 2008), elaborado a partir de dados da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). O MDE foi classificado de acordo com as declividades de interesse, utilizando-se a ferramenta *SpatialAnalyst>Slope* (Figura 4a).

Mantovani *et. al* (2007) e Cristofidis (2005) citam a implantação de sistemas de pivô central em até 30% de declive, no entanto ressaltam que acima de 15% ocorre um gradativo aumento da susceptibilidade do solo à erosão. Desta forma, o mapa de declividade ficou definido em três classes: 0-15%, 15-30% e > 30%, sendo maior o peso da classe quanto menor o declive.

Mapa de distância dos cursos hídricos

Este mapa foi gerado com dados da rede de drenagem do Estado de Goiás. Por meio da

ferramenta *Multiple Ring Buffer* criou-se quatro classes de distância, com intervalos de 1 km de extensão a partir dos vetores de drenagem. Sendo que as classes mais próximas do curso hídrico possuem maior aptidão à irrigação e assim receberam maiores valores de peso (Figura 4b).

O intervalo de 1 km utilizado para as classes de distância deste mapa, segue classificação proposta por Lima *et al.* (2013) com base em estudo realizado por Borges *et al.* (2008), onde relaciona custos de implantação em função da distância entre o sistema de pivô e a fonte de água.

Mapa de solos

A partir do mapa de classes de solo, foi realizado um recorte delimitado pelo polígono da área de estudo por meio da ferramenta *Clip*. Sendo obtido um mapa temático com as seguintes classes: Latossolo, Cambissolo e Plintossolo (Figura 5c). Os pesos atribuídos às três classes são decorrentes ao grau de fertilidade de cada solo, que de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006) e Prado (2011) se caracterizam da seguinte forma:

- **Plintossolos** são geralmente profundos, imperfeitamente ou moderadamente drenados, formados em condições de restrição à percolação de água, macios na presença de água e endurecem na falta desta; baixa fertilidade em geral e com restrições à agricultura irrigada.

- **Cambissolos** são solos minerais, não hidromórficos, rasos ou pouco profundos, bem drenados, de fertilidade variável, aptos à agricultura irrigada.

- **Latossolos** são solos minerais, não hidromórficos, profundos, acentuadamente drenados; das classes identificadas, é o de melhor aptidão à produção agrícola.

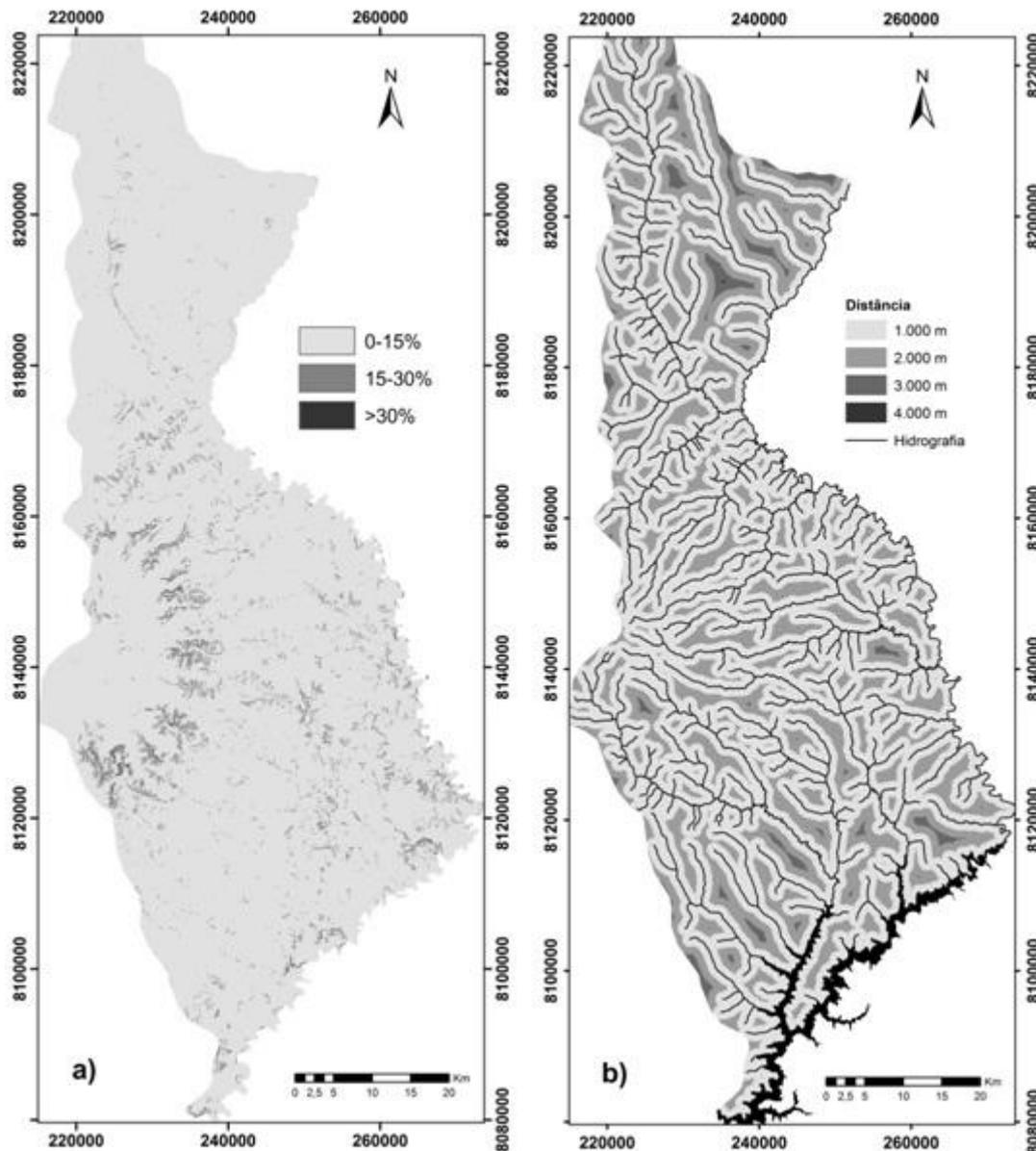


Figura 4. Mapa de declividade (a); Mapa de distâncias do curso hídrico (b)

Mapa de uso e ocupação do solo

Para elaboração do mapa temático de uso e ocupação do solo, foi realizada uma atualização por meio da ferramenta *Union*, da base de remanescentes vegetais gerados pelo IBAMA, com as feições de pivô central obtidas da digitalização *Headsup* em uma imagem LANDSAT-8.

Neste mapa as áreas foram classificadas em: atividade agropecuária, irrigação por pivô central e vegetação remanescente (Figura 5d).

De acordo com dados do Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite – PMDBBS (IBAMA, 2011), a área de estudo possui apenas 27% de vegetação remanescente. Motivo pelo qual esta classe recebeu peso nulo, o que a torna inapta à irrigação, enquanto as demais classes receberam peso 1.

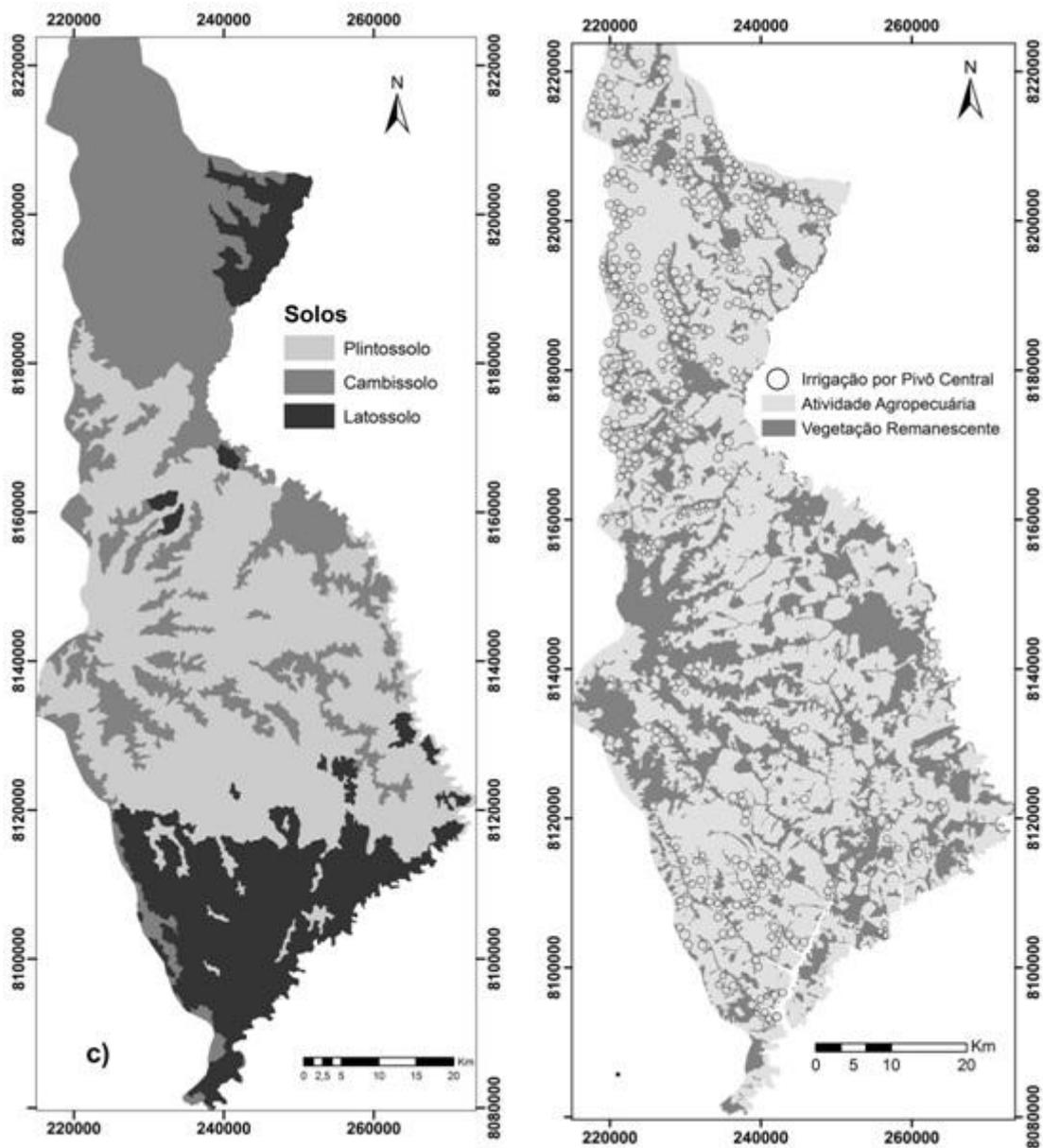


Figura 5. Mapa de solos(c); Mapa de uso e ocupação do solo (d)

Mapa de aptidão à irrigação

O mapa de aptidão foi obtido pela integração dos quatro mapas temáticos, que tiveram os valores de suas respectivas classes reclassificados por pesos expressos em valores

de 0 a 9 (Tabela 6), utilizando a ferramenta *SpatialAnalyst>Reclassify*. Em seguida, os mapas foram integrados por meio da ferramenta *SpatialAnalyst>Raster Calculator*, na qual foi aplicada a fórmula:

$$[43%*(Declividade)+43%*(Distancia)+14%*(Solos)]*(Cobertura e Uso e ocupação do Solo) = Aptidão à Irrigação \quad (\text{Fórmula 1})$$

Tabela 6 - Porcentagem de influência das variáveis e peso das suas respectivas classes.

Camada	Importância (%)	Classe	Peso
Declividade (%)	43	0-15	9
		15-30	7
		>30	1
Distância (m)	43	1.000	9
		2.000	7
		3.000	5
		4.000	1
Solos	14	Latossolo	9
		Cambissolo	7
		Plintossolo	1
Cobertura e Uso e ocupação do Solo	-	Atividade Agropecuária	1
		Irrigação por Pivô Central	1
		Vegetação Remanescente	0

A figura 6 apresenta o processo de integração das quatro variáveis. Para os mapas “1” e “2” foram atribuídos pelo método AHP, uma importância de 43%, uma vez que são variáveis mais determinantes para a implantação de sistemas de pivô (LIMA *et al.*, 2013) e, ao mapa “3” 14% de influência na

combinação. Os valores das células são efetivamente multiplicados por sua porcentagem de influência e então somados para criar o raster de saída. Por exemplo, na primeira célula, $[(9*0.43) + (5*0.43) + (7*0.14)]*(1) = 7$, como o raster de saída é discreto o valor calculado é arredondado para 7.

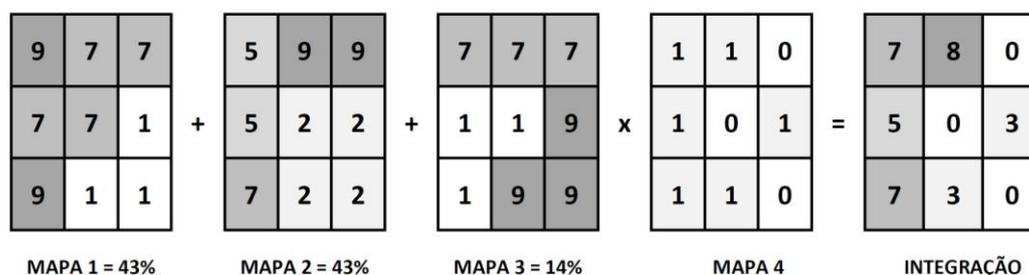


Figura 6. Processo de integração dos mapas temáticos reclassificadas por porcentagem de importância

As classes de aptidão resultantes da integração dos mapas temáticos foram definidas

como: boa, regular, restrita e inapta. Sendo estas apresentadas na tabela 7.

Tabela 7. Descrição das classes de aptidão para irrigação.

Classe	Aptidão
Boa	Apta com práticas simples e pequeno emprego de capital.
Regular	Apta com práticas intensivas e mais sofisticadas e considerável aplicação de capital, ainda considerada economicamente compensadora.
Restrita	Apta somente com práticas de grande vulto, aplicadas a projetos de larga escala que estão normalmente além das possibilidades individuais dos agricultores.
Inapta	Sem viabilidade técnica, ambiental ou econômica.

Valoração do Potencial Produtivo

O potencial produtivo de uma cultura é definido como a máxima capacidade de produção de uma planta ou comunidade de plantas, em função da limitação imposta pelo

ambiente no qual ela se encontra (EVANS e FISCHER; 1999).

Segundo informações do IBGE (2012), o município de Cristalina apresenta sete culturas agrícolas que são parcial ou exclusivamente

cultivadas em sistemas de pivô central e, quatro culturas de sequeiro (Tabelas 8 e 9).

Tabela 8. Produção agrícola irrigada no município de Cristalina (IBGE, 2012).

Cultura	Área Plantada (hectare)	R\$/ha	Valor Total
Batata Inglesa	6.000	42.000	252.000.000
Alho	1.800	93.600	168.480.000
Feijão	27.000	6.000	162.000.000
Tomate	2.568	16.000	41.088.000
Cebola	800	39.600	31.680.000
Café	2.000	15.192	30.384.000
Trigo	8.000	2.800	22.401.000
Total	48.168		R\$ 708.033.000
Média		R\$ 14.699	

Tabela 9. Produção agrícola de sequeiro no município de Cristalina (IBGE, 2012).

Cultura	Área Plantada (hectare)	R\$/ha	Valor Total
Algodão	9.280	5.225	48.484.000
Milho	63.000	4.159	262.038.000
Sorgo	15.000	1.386	20.790.000
Soja	205.000	2.387	489.233.000
Total	292.280		R\$ 820.545.000
Média		R\$ 2.807	

Para valoração do potencial de produtivo da agricultura irrigável, primeiramente foi calculado o potencial produtivo por unidade de

área (PP), sendo a diferença entre os valores da produção média por hectare da agricultura irrigada e de sequeiro.

$$PP = (\text{Valor Total da Produção Irrigada} / \text{Área Irrigada Plantada}) - (\text{Valor Total da Produção de Sequeiro} / \text{Área de Sequeiro Plantada}) \quad (\text{Fórmula 2})$$

Em seguida foi calculado o Potencial Produtivo Total (PPT), onde foram consideradas apenas as áreas agrícolas de sequeiro classificadas como regular e de boa aptidão à irrigação, sendo o produto do valor de

PP multiplicado pela área irrigável potencial (AP).

$$PPT = AP * PP \quad (\text{Fórmula 3})$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 7 observa-se o mapa final resultado da integração dos mapas temáticos, apresentando as quatro classes decorrentes do agrupamento dos dados. Neste tipo de agrupamento, as regiões são delimitadas quando existem grandes diferenças relativas entre os valores dos dados, maximizando a diferença entre as regiões.

As classes de aptidão restrita ou inapta ocupam 8% e 31% da área do mapa. Enquanto as áreas classificadas como regular e boa, representam 33% e 29% respectivamente. Na tabela 10 são apresentados os valores quantitativos, obtidos no processamento dos dados, referentes às áreas de cada classe dos mapas temáticos.

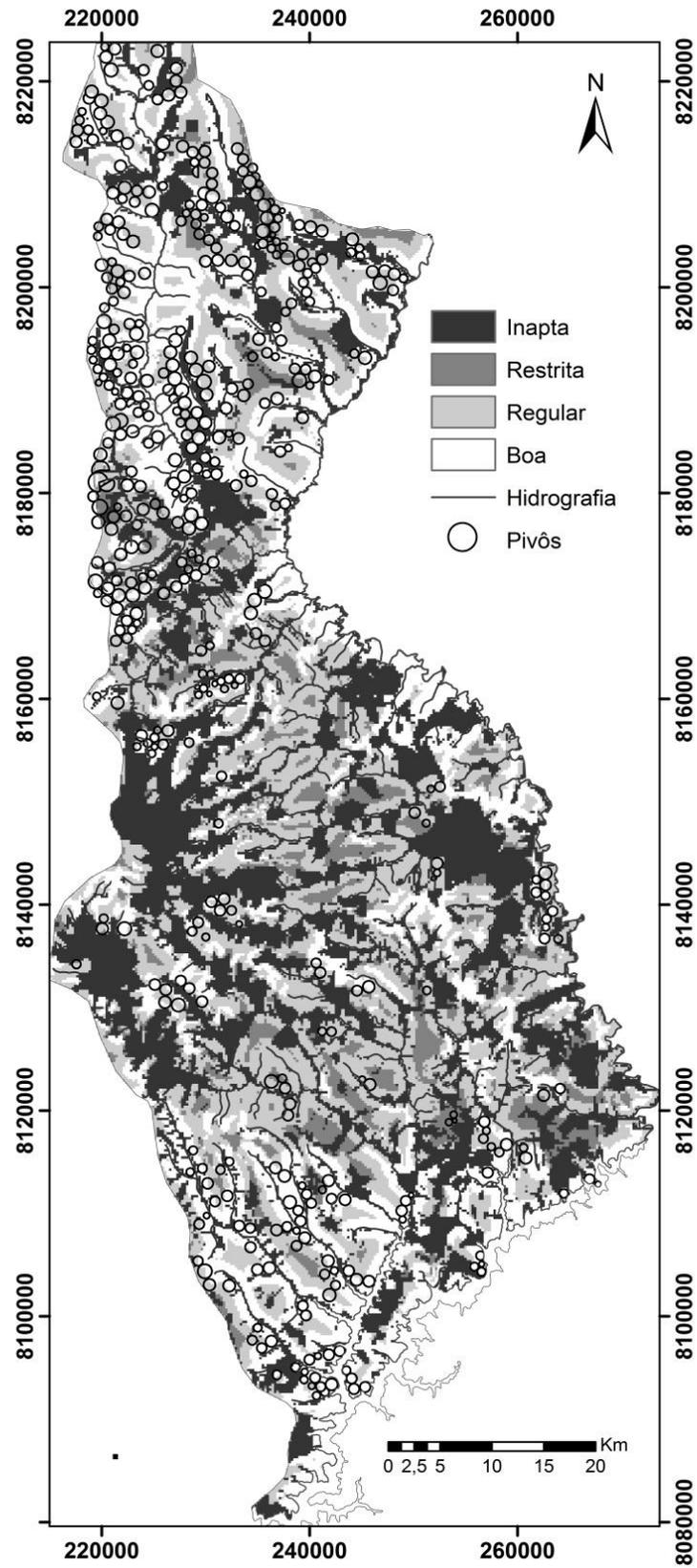


Figura 7. Mapa de aptidão à irrigação

Tabela 10. Classificação dos mapas temáticos com valores de área e porcentagem.

Mapa	Classe	Área (hectare)	Porcentagem m (%)
Declividade	0-15%	391.481	95,6
	15-30%	17.320	4,2
	>30%	622	0,1
Distância do curso hídrico	0 – 1000 m	299.753	73,2
	1000 – 2000 m	99.677	24,3
	2000 – 3000 m	7.616	1,9
	3000 – 4000 m	2.376	0,6
Solos	Latossolo	83.687	20,4
	Cambissolo	149.678	36,6
	Plintossolo	176.058	43,0
Uso e ocupação do solo	Atividade Agropecuária	260.974	64,0
	Irrigação por Pivô Central	36.927	9,0
	Vegetação Remanescente	111.522	27,0
Aptidão para irrigação	Inapta	125.245	31
	Restrita	31.129	8
	Regular	136.132	33
	Boa	116.917	29

Ainda na figura 7, pode-se visualizar a localização dos 470 pivôs que totalizam uma área de 36.927 hectares conforme apresentado

na tabela 11. Sendo que 94% desta área situam-se nas classes boa e regular.

Tabela 11. Área de cada classe de aptidão para irrigação ocupada por pivôs centrais.

Classe de Aptidão	Área de Pivô (hectare)	Porcentagem (%)
Inapta	85	0,2
Restrita	2.055	6,0
Regular	14.841	40,0
Boa	19.945	54,0
Total	36.927	100%

Em relação à valoração do potencial produtivo, obteve-se o valor de R\$ 11.892/ha para PP, sendo este o resultado da diferença entre os valores médios de R\$ 14.699/ha para cultivos irrigados e R\$ 2.807/ha para cultivos de sequeiro. Posteriormente, foi calculado o

potencial produtivo total (PPT), produto da multiplicação da área potencial (AP) de 218.262 ha pelo valor de PP, que resultou no valor R\$ 2.595.574 mil/ano, conforme apresentado na tabela 12.

Tabela 12. Valores da produção irrigada atual e do potencial produtivo da área de estudo.

Classe de Aptidão	Área (ha)	Área c/ Pivô (ha)	Área Potencial (ha)	Produção Irrigada Atual (R\$)	Potencial Produtivo Total (R\$)
Inapta	125.2			1.251.82	
Restrita	45	85	-	2	-
Regular	31.12			30.210.6	
Boa	9	2.055	-	35	-
	136.1			218.150.	1.442.38
	32	14.841	121.291	829	9.962
	116.9			293.176.	1.153.18
	17	19.945	96.971	687	4.323
Tot	409.4			542.789.	2.595.57
al	23	36.927	218.262	973	4.286

A agricultura irrigada uma vez ampliada poderá aumentar seu valor de produção, passando dos atuais R\$ 542 milhões para R\$ 2,59 bilhões. No entanto, deve-se ressaltar que a efetiva ocupação total da área apta à irrigação é limitada a outros fatores não considerados no presente estudo, como capacidade hídrica dos mananciais, geometria circular dos sistemas de pivôs, limites físicos entre propriedades rurais e disponibilidade de energia elétrica.

Quanto ao conflito entre irrigantes e UHE Batalha, o Marco Regulatório estabelece o cultivo irrigado de até 33.500 ha na porção goiana da Bacia Hidrográfica do Rio São

Marcos, no entanto existem atualmente 36.927ha já ocupados por pivôs, um excedente de 3.427ha em relação ao limite determinado.

Considerando o valor potencial da produção irrigável de R\$ 11.892/ha, apenas os 3.427 hectares a serem suprimidos pelo Marco Regulatório deixarão de produzir R\$ 40,7 milhões/ano.

Enquanto o valor da energia elétrica a ser comercializada por UHE Batalha no mesmo período, considerando os 47 MW médios de energia contratada ao preço de R\$ 114,37 MWh, será de R\$ 46,4 milhões/ano (ANEEL, 2005; BRASIL, 2011).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conflito pelo uso da água na Bacia Hidrográfica do Rio São Marcos atesta a importância de estudos preliminares quanto aos impactos ambientais, sociais e econômicos causados por empreendimentos hidrelétricos, uma vez que implicarão em mudanças significativas na realidade de uma região.

O emprego das ferramentas geotecnológicas indicaram bons resultados, refletidos pela concordância do Mapa de Aptidão com as áreas irrigadas existentes.

A partir dos resultados obtidos por meio da aplicação de SIG e a valoração do potencial da agricultura irrigada, constatou-se que neste cenário a irrigação é mais rentável que a energia elétrica a ser gerada pela UHE Batalha. No entanto, a expansão da área irrigada está diretamente condicionada à disponibilidade de energia elétrica, sendo recomendada uma análise mais aprofundada dos elementos conflitantes, a fim de identificar a viabilidade e condições necessárias à coexistência de ambas as atividades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

1. ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013.** Brasília: ANA, 2013.
2. ANA. **Manual de construção da base hidrográfica ottocodificada da Ana. Fase 1 – Construção**

da base topológica de hidrografia e otobacias conforme a codificação de bacias hidrográficas de Otto Pfafstetter. Brasília, 01 de novembro de 2007.

3. ANA. **Nota Técnica nº 023/2010/GEREG/SOF-ANA**. Levantamento de área irrigada na bacia do rio São Marcos. Brasília, 5 de março de 2010c.
4. ANA. **Plano de recursos hídricos da bacia do rio Paranaíba: diagnóstico da Bacia Hidrográfica do rio Paranaíba**. Revisão 2. Agosto, 2011.
5. ANA. **Portaria CTPI/C BACIA HIDROGRÁFICA Paranaíba nº 17, de 09 de maio de 2012**. Itumbiara, 2012.
6. ANA. **Resolução nº 489, de 19 de agosto de 2008**. Brasília, 2008.
7. ANA. **Resolução nº 562, de 25 de outubro de 2010**. Estabelece o Marco Regulatório do Uso da Água na bacia do São Marcos, pactuado entre os órgãos gestores de recursos hídricos (OGRHs) dos Estados de Goiás, Minas Gerais e a ANA. Brasília, 2010a.
8. ANA. **Resolução nº 564, de 25 de outubro de 2010**. Brasília, 2010b.
9. ANELL. **Relatório da comissão especial de licitação referente ao leilão nº 002/2005-ANEEL, Processo nº 48500.004323/05-09**. Brasília, 19 de dezembro de 2005.
10. BIELENKER, C.J. **Geoprocessamento e recursos hídricos: aplicações práticas**. São Carlos: EdUFSCar, 2012.
11. BORGES JUNIOR, J. C. F. *et al.* **Modelo computacional para suporte à decisão em áreas irrigadas. Parte I: Desenvolvimento e análise de sensibilidade**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 3-11, 2008.
12. BRASIL. Controladoria Geral da União. **Relatório de auditoria especial nº 00190.001631/2011-17 em Furnas Centrais Elétricas S/A**. Outubro, 2011.
13. BRASIL. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília, 1997.
14. BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Irrigação no Brasil: situação e diretrizes**. Brasília: IICA, 2008.
15. BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Nota Técnica MME/SPD/05. Garantia Física de Energia e Potência Metodologia, Diretrizes e Processo de Implantação**. Brasília, outubro de 2004.
16. CRISTOFIDIS, D. **Água e agricultura**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2005.
17. EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.
18. EVANS, L.T.; FISCHER, R.A. **Yield potential: its definition, measurement, and significance**. Crop Science, Madison, v.39, p.1.544-1.551, 1999.
19. FAO. **FAO's Information System on Water and Agriculture: Aquastat**. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/>. Acesso em: 28/11/2013.
20. FURNAS. **UHE Batalha: projeto básico – memorial descritivo**. Volume I. Texto – PJ0606-B-R00-GR-MD-001-0. Dezembro, 2006.
21. FURNAS. **UHE Paulistas, rio São Marcos (GO/MG): relatório de impacto ambiental**. Maio, 2005.
22. GOIÁS - Secretaria de Indústria e Comércio do Estado de Goiás. **Meio Físico e Uso do Território - Sistema de Informação Geográfica, Município de Cristalina**. Goiânia: SIEG, 2008.
23. IBAMA. **Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite – PMDBBS**. Disponível em: <http://www.siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/>. Acesso em: 01/10/2013.
24. IBGE. **Censos Demográficos: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>. Acesso em: 20/11/2013.
25. INPE. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais do projeto de produtividade em pesquisa “modelagem de dados topográficos SRTM”. CNPq, processo nº 306021/2004-8 (NV)**. São José dos Campos: INPE, 2008.
26. LIMA, H.P. *et al.* **Identificação de áreas aptas à implantação de irrigação por pivô central no município de Unaí-MG utilizando ferramental do SIG**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Foz do Iguaçu, p.0585-0592, Abril 2013.
27. MANTOVANI, E.R.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: UFV, 2007. p. 358.
28. PRADO, H. **Pedologia fácil: aplicações**. Piracicaba: Hélio do Prado, 2011.
29. RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado**. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Eds.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA/CPAC, 1998. p. 89-166.
30. SAATY, T.L. **Analytical Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation**. New York: McGraw-Hill, 1980.
31. SCHMIDT, E.W.; VALIATI, M.I. **Avaliação do manejo de irrigação para a cultura de feijão (Phaseolus vulgaris) irrigada por pivô central na Agrícola Wehrmann em Cristalina - GO**. Revista Campo Digital, v.1, n.1, p.23-31, 2006.
32. SILVA, L.M.C. **Conflito pelo uso da água na Bacia Hidrográfica do rio São Marcos**. Projeto Final II (Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente). Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2012.

Manuscrito recebido em: 10 de Janeiro de 2014

Revisado e Aceito em: 29 de Maio de 2014