



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Análise da aptidão para irrigação por pivô central e por gotejamento no Oeste do Paraná

Lucas Volochen Oldoni¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
lucas.oldoni@outlook.com

RESUMO

Com o crescimento populacional, será necessário também aumentar a produção de alimentos. A irrigação é uma tecnologia importante para se alcançar isso, pois em áreas irrigadas a produção pode ser de 2 a 3 vezes maior do que no sequeiro, além de permitir em muitos casos a realização de até 3 safras por ano. Porém, uma grande parte da água consumida na Terra é utilizada para irrigação. Assim, é importante que a irrigação seja implantada e manejada de forma racional e sustentável. Neste trabalho utilizou-se a técnica Análise hierárquica ponderada (AHP) juntamente com a análise de média ponderada para verificar a aptidão a irrigação por gotejamento e pivô central no estado do Paraná. Obteve-se maior porcentagem de áreas com alta aptidão a irrigação para o sistema de irrigação por gotejamento em comparação com o de pivô central.

Palavras-chave: AHP, geoprocessamento, Análise booleana.

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional há necessidade do aumento de produção de alimentos, porém a expansão da área agrícola é limitada. Assim, há necessidade de aumento da produtividade agrícola. A irrigação é uma ótima ferramenta para aumento de produtividade, pois evita perdas com estiagens (para algumas culturas estiagens de 15 a 20 dias já ocasionam perdas), além de proporcionar o cultivo de três safras por ano. Sendo que as áreas irrigadas devem quase dobrar até 2050, em um contexto de mudança climática e diminuição da disponibilidade de água (LOBELL et al., 2008).

São muitos os benefícios da irrigação dentre eles aumento da produtividade da ordem de 2 a 3 vezes em relação à agricultura de sequeiro, redução do custo unitário de produção, utilização do solo durante todo o ano com até três safras ao ano, utilização intensiva de máquinas, implementos e mão-de-

obra, aplicação de agroquímicos e fertilizantes por meio do mesmo equipamento da irrigação, aumento na oferta e na regularidade de alimentos e outros produtos agrícolas, atenuação do fator sazonalidade climática e dos riscos de produção associados, preços mais favoráveis para o produtor rural, maior qualidade e padronização dos produtos agrícolas, abertura de novos mercados, inclusive no exterior, produção de sementes e de culturas nobres, elevação da renda do produtor rural, regularidade na oferta de empregos, modernização dos sistemas de produção (ANA, 2017). Porém, a irrigação é responsável por boa parte do consumo de água no mundo.

Assim, informações sobre a possibilidade de expansões da área irrigada são importantes, para fornecer perspectivas e direcionamento tanto para o setor privado quanto para as políticas públicas, visando incentivos à irrigação, ao mesmo tempo para controlar o aumento dessa área, visando o uso racional da água.

Existem diversos sistemas de irrigação, dentre eles os sistemas por aspersão e por gotejamento. Na irrigação por aspersão, a água é aplicada sob pressão acima do solo, por meio de aspersores ou orifícios, na forma de uma chuva artificial. Sendo que a irrigação por pivô central utiliza a irrigação por aspersão. O método localizado (ou gotejamento) consiste na aplicação em uma área bastante limitada, utilizando pequenos volumes de água, sob pressão, com alta frequência (ANA, 2017). O método de irrigação localizado apresenta melhor eficiência de irrigação (80% - 95%), quando comparado com o sistema de aspersão (75% - 90%), porém apresenta um custo maior de instalação (EMBRAPA, 2018).

O método de irrigação por pivô central possui limitação na declividade para sua instalação, sendo o máximo de 30%, já o sistema por gotejamento permite a instalação em declividades de até 60%. O tipo de solo também influencia na escolha do sistema. Solos com velocidade de infiltração básica maior que 60 mm/h devem ser irrigados por aspersão ou com irrigação localizada. Para velocidades de infiltração inferiores a 12 mm/h, em áreas inclinadas, o método mais adequado é o da irrigação localizada (EMBRAPA,

2018). Além disso, o novo código florestal impõe restrições para áreas com declividade superior a 20°, ou seja 36% (FAEP, 2012).

Em um país com as dimensões territoriais e a geodiversidade do Brasil, o sensoriamento remoto, associado ao geoprocessamento, permite relevante ganho de escala em levantamentos relacionados à agricultura irrigada, além de tornar o processo menos oneroso e demorado (ANA, 2017).

2 OBJETIVO

Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar as áreas aptas a implantação de irrigação no estado do Paraná (que possui uma baixa área irrigada), utilizando dois cenários, um para pivô central e outro de irrigação por gotejamento.

3 MATERIAL E METODOS

O trabalho foi desenvolvido utilizando os softwares QGIS 3.0 e ArcGIS 10. Foi utilizado o sistema de referência geográfica e Datum SIRGAS 2000.

3.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende o estado do Paraná (Figura 1), localizado no sul do Brasil, com área de 199315 km² e 399 municípios. É um estado com grande produção agrícola, sendo que no ano de 2015 foi o maior produtor de cevada, feijão, trigo, e segundo maior de batata inglesa, mandioca, milho, soja (PARANÁ, 2018). Possui área irrigada de cerca de 127887 ha (ANA, 2017), que é baixa em comparação a outros estados como São Paulo e Minas Gerais (1300047 ha e 1082373 ha, respectivamente).

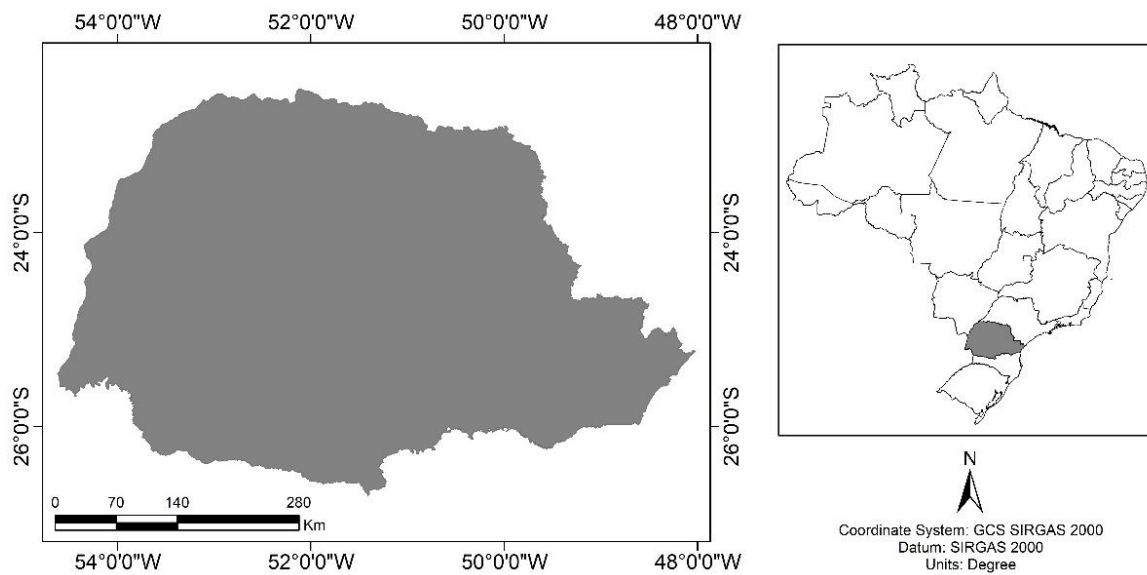


Figura 1. Localização da área de estudo.

3.2. FLUXOGRAMA DE TRABALHO

A representação OMT-G formaliza os procedimentos realizados no trabalho (Figura 2). O produto final foi a geração de dois planos de informação, um de aptidão a irrigação por pivô central e outro de aptidão a irrigação por gotejamento.

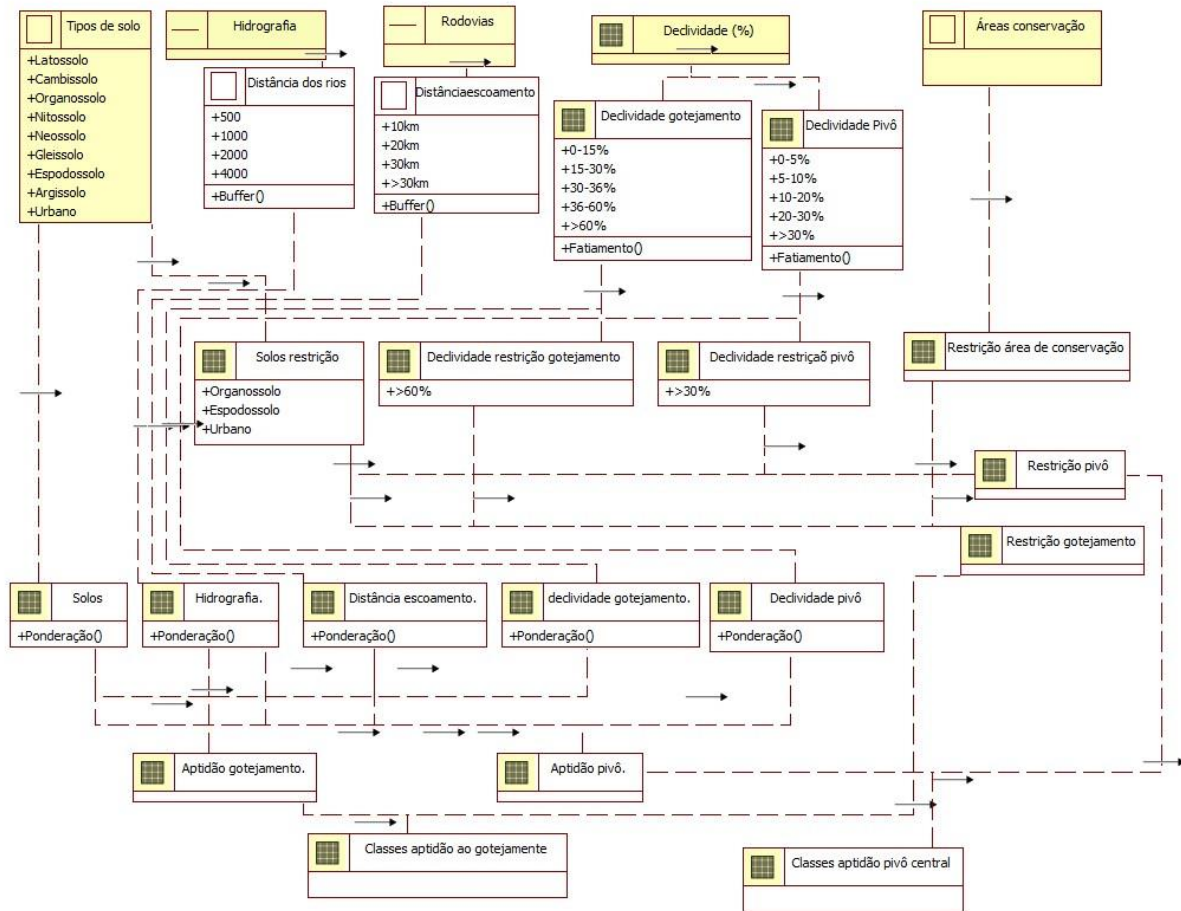


Figura 2 Modelo OMT-G de trabalho.

3.3. PLANOS DE INFORMAÇÃO

Foram utilizados diversos dados de acesso livre para o desenvolvimento do trabalho (Tabela 1).

Tabela 1 Tabela síntese dos dados utilizados.

Dados	Fonte	Formato
Declividade – Topodata	INPE	Geocampo
Tipo de solo	ITCG	Geobjeto (polígonos)
Hidrografia	ITCG	Geobjeto (linha)
Rodovias federais	DNIT	Geobjeto (linha)
Unidades de Conservação	MMA	Geobjeto (polígonos)
Limites político-administrativo	IBGE	Geobjeto (polígonos)

A divisão política administrativa foi obtida junto ao IBGE, servindo de base para delimitação da área de estudo. Os planos de informações utilizados foram reprojeto para SIRGAS 2000 e recortados para o limite do Paraná.

Os dados de declividade foram obtidos junto ao INPE, projeto TOPODATA (VALERIANO, 2008), no formato matricial. As 24 cenas utilizadas foram mosaicas para formarem um único arquivo matricial. Estes arquivos matriciais foram reclassificados em 0-15%, 15-30%, 30-36%, 36-60% e >60% para irrigação por gotejamento (Figura 4) e 0-5%, 5-10%, 10-20%, 20-30% e >30% (Figura 4) para irrigação por pivô central. Houve esta diferenciação, pois para irrigação por pivô central a declividade máxima é 30%, e por haver maior risco de erosão pode ser um fator limitante.

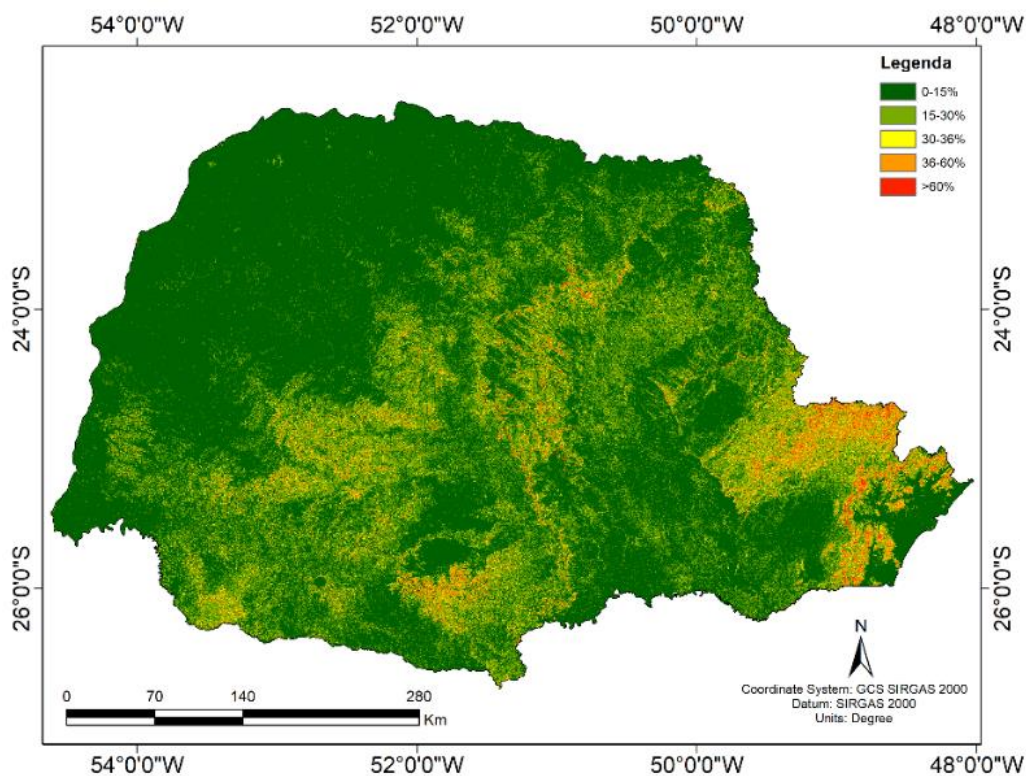


Figura 3 Classes de declividade classificadas para irrigação por gotejamento

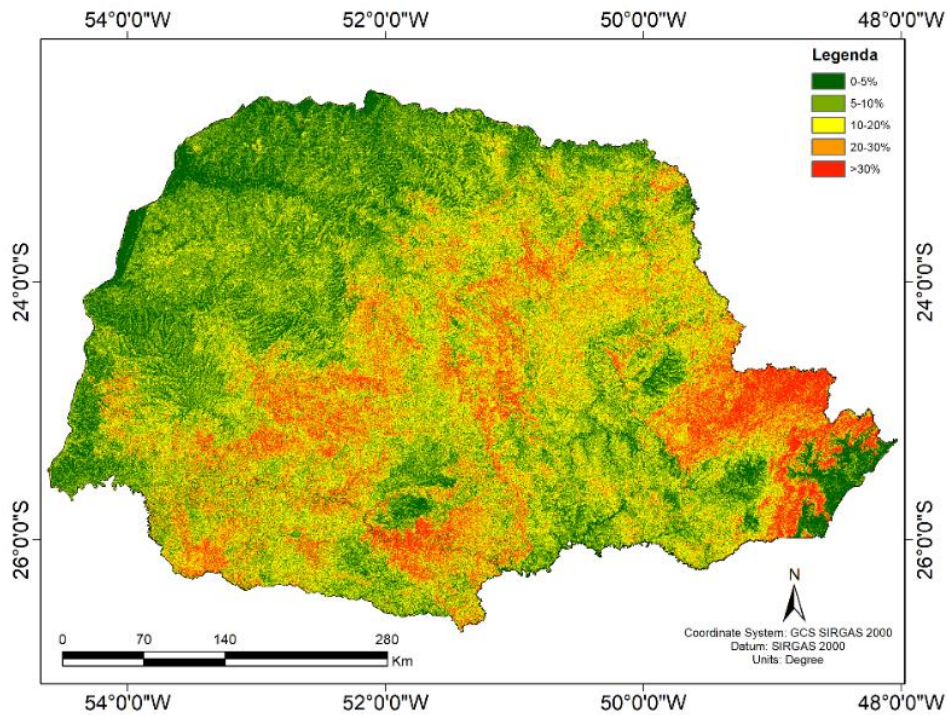


Figura 4 Classes de declividade classificadas para irrigação por pivô central.

Os tipos de solo e hidrografia foram obtidos junto ao ITCG (Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná), em formato vetorial. Os tipos de solo foram generalizados de classe e subclasse de solo para apenas classe de solo (Figura 5). Também foi utilizada o dado de áreas urbanas presente neste plano de informação.

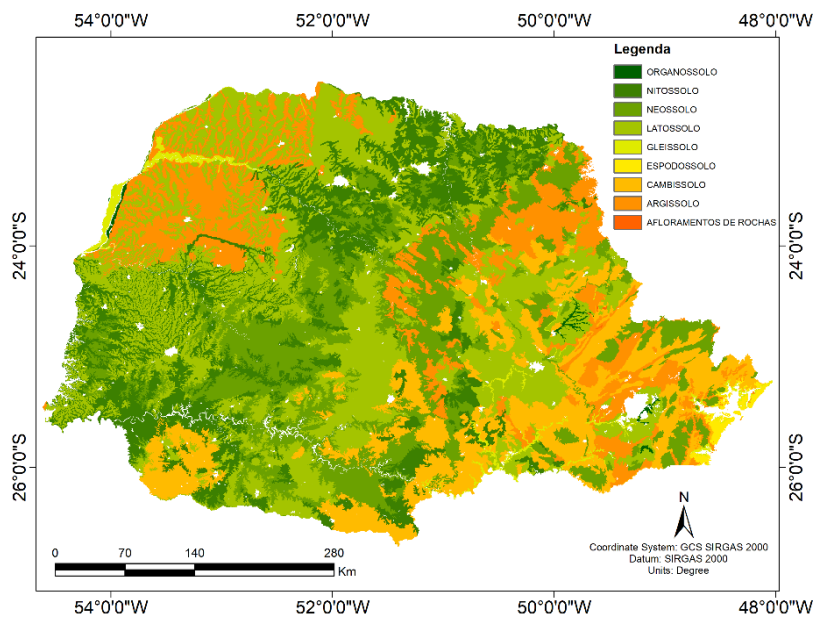


Figura 5 Classes de solo.

Para a hidrografia foram gerados buffer com distâncias de 500, 1000, 2000 e 4000 m (Figura 6). Isto porque o acesso a água é maior próximo a rede de hidrografia.

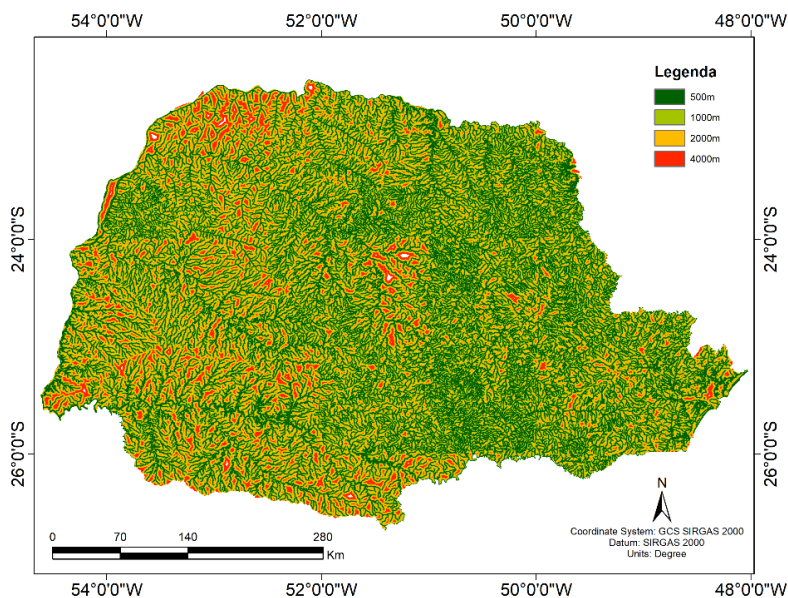


Figura 6 Classes de hidrografia.

As rodovias federais foram obtidas junto ao DNIT, também no formato vetorial de linha. Foram gerados buffers de 10, 20,30 e 40 km (Figura 7), pois

áreas mais próximas a rodovias tem maior facilidade a escoamento da produção, logo é melhor produzir mais próximo a rodovias.

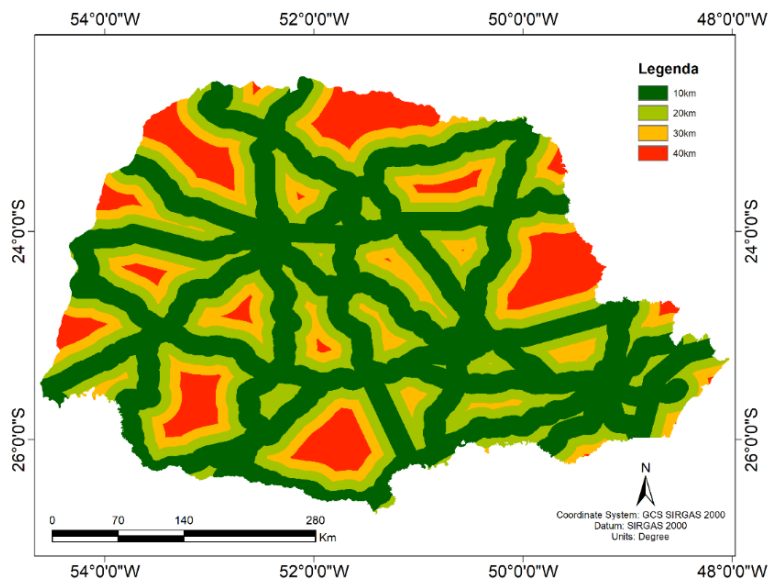


Figura 7 Classes para rodovias.

As áreas de preservação integral municipais, estaduais foram obtidas junto ao MMA (Figura 8), sendo áreas em que não é permitida a instalação de sistemas de irrigação.

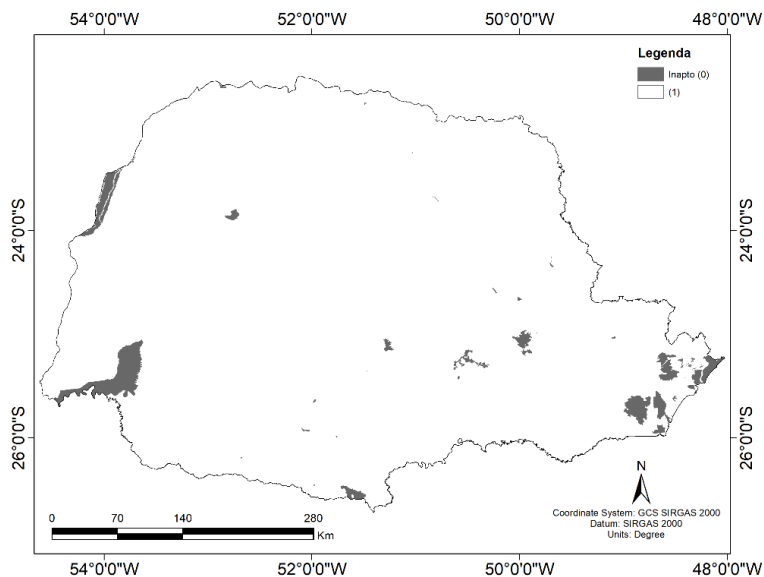


Figura 8 Áreas de conservação municipais, estaduais e federais.

Então todos os planos de informação foram convertidos para o formato raster com resolução espacial de 30m, para serem compatibilizados com os dados de declividade.

3.4. ÁLGEBRA BOOLEANA

A análise booleana é a técnica mais simples de inferência espacial. É realizada por meio da combinação lógica de operadores algébricos condicionais. Considerou-se restritivos os locais onde não se permite a implementação de sistema de irrigação, como áreas de conservação, ou áreas com restrição técnica, como declividade acima de 30% para irrigação por pivô central.

Neste contexto foram consideradas como restritivas áreas de conservação, áreas urbanas, declividade acima de 30% para irrigação por pivô central e de 60% para irrigação por gotejamento, além dos solos das classes aforamento rochosos, organossolos, que possuem restrições associadas à presença de teores elevados de materiais sulfídricos, de sais e de enxofre responsáveis por toxidez à maioria das culturas e espodossolo que possui limitações relacionadas a sua textura arenosa, presença de horizonte de impedimento e baixa fertilidade (EMBRAPA, 2018). A partir das considerações feitas, foram realizadas operações de reclassificação, atribuindo valor 0 onde haviam restrições e 1 nos outros casos (Tabela 2).

Tabela 2 Valor de pixel e indicação de restrição para os critérios.

Critério	Sigla	Valor pixel
Áreas Urbanas	ArUr	0
Declividade maior que 30%	DecPivo	0
Declividade maior que 60%	DecGot	0
Áreas de conservação	ArCon	0

Utilizando o raster calculator do ArcGIS foram aplicadas as Equações 1 e 2 para gerar os mapas de restrições para pivô central e para gotejamento (Figura 9 e Figura 11, respectivamente).

$$restr_{pivo} = ArUr * DecPivo * ArCon \quad (1)$$

(2)

$$\text{restr}_{\text{gotejamento}} = \text{ArUr} * \text{DecGot} * \text{ArCon}$$

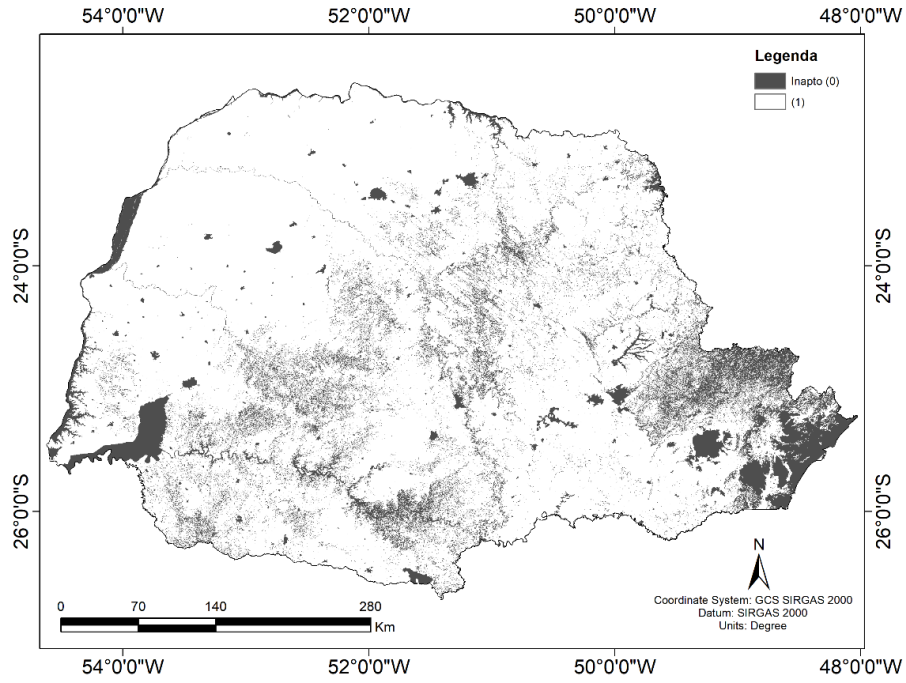


Figura 9 Mapa booleano utilizado para pivô central.

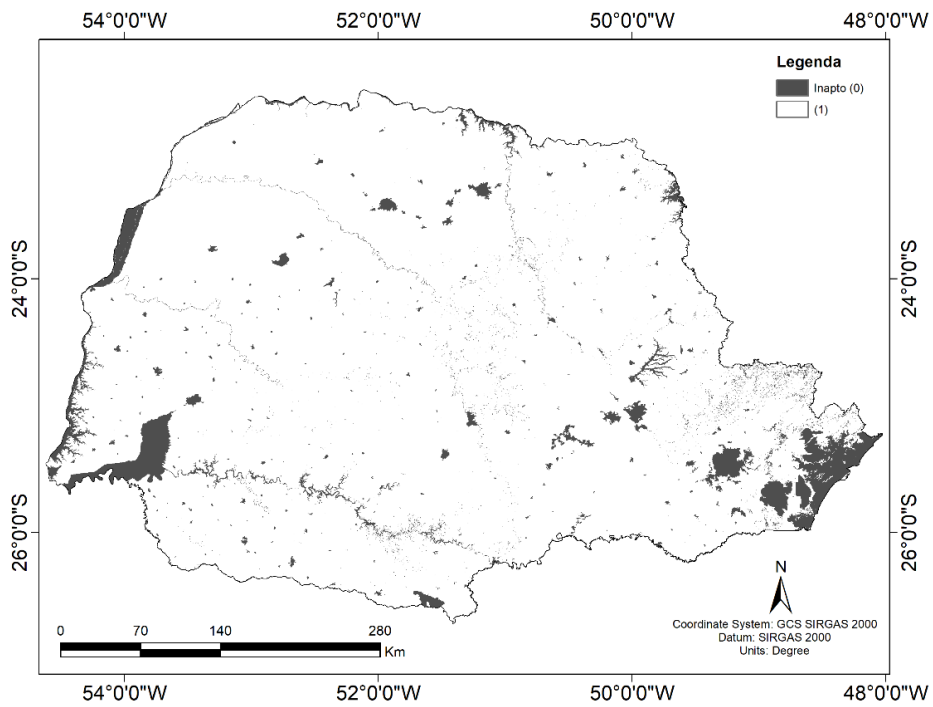


Figura 10 Mapa booleano utilizado para gotejamento.

3.5. Análise hierárquica ponderada (AHP)

O método AHP foi desenvolvido por Tomas L. Saaty na década de 70, AHP é um dos principais modelos matemáticos aplicado no apoio à teoria de decisão disponível no mercado, onde diversas variáveis ou critérios são considerados para a seleção de diversas alternativas propostas (SANTOS, 2013).

O método AHP foi aplicado para se determinar o peso de cada classe de cada plano de informação (PI) e também para determinar os pesos de cada plano de informação. Realizou-se a comparação pareada por meio de uma matriz, em que se indicou a importância de uma classe sobre a outra e de uma PI sobre o outro, considerando a escala fundamental de Saaty (1980) (Tabela 3).

Tabela 3 Escala fundamental de Saaty (1980).

Grau de importância	Relação	Descrição
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação à outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência ou juízo favorece fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra. Pode ser demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidências favorece uma atividade em relação à outra, com o mais alto grau de segurança.
2, 4, 6, 8	Valores Intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições

As Tabela 4, Tabela 5, Tabela 6 e Tabela 7 apresentam a comparação pareada par a par para as classes de solo, declividade, distância de hidrografia e rodovias, respectivamente. Foram considerados os solos Latossolo, que devido as condições físicas e aos relevos mais suaves, apresentam alto potencial para o uso agrícola, e Nitossolo, que em áreas mais planas,

principalmente os de maior fertilidade natural e de maior profundidade, apresentam alto potencial para o uso agrícola, com maior peso, seguidos por Neossolo, que em áreas mais planas, principalmente os de maior fertilidade natural (eutróficos) e de maior profundidade, apresentam potencial para o uso agrícola, então Argissolo, que quando localizados em áreas de relevo plano e suave ondulado, podem ser usados para diversas culturas, e Cambissolo, que quando apresentam espessura no mínimo mediana (50-100 cm de profundidade) e sem restrição de drenagem, em relevo pouco movimentado, eutróficos ou distróficos, apresentam bom potencial agrícola, e com menor peso em comparação aos outros o Gleissolo, que apresentam limitações ao uso agrícola, devido à presença de lençol freático elevado e ao risco de inundações ou alagamentos (EMBRAPA, 2018). Declividades menores foram consideradas com peso maior em comparação a declividades maiores. E distância de rodovias e hidrografia menores foram consideradas com peso maiores em comparação a aquelas com maior distância.

Tabela 4 Matriz de comparação par a par para solos.

	Latossolo	Nitossolo	Neossolo	Argissolo	Cambissolo	Gleissolo
Latossolo	1	1	3	5	5	7
Nitossolo	1	1	3	5	5	7
Neossolo	0.33	0.33	1	3	3	5
Argissolo	0.20	0.20	0.33	1	1	3
Cambissolo	0.20	0.20	0.33	1	1	3
Gleissolo	0.14	0.14	0.20	0.33	0.33	1

Tabela 5 Matriz de comparação par a par para declividade.

	0-5%/0-15%	5-10%/15-30%	10-20%/30-36%	20-30%/36-60%
0-5%/0-15%	1	3	5	7
5-10%/15-30%	0.33	1	3	5
10-20%/30-36%	0.20	0.33	1	3
20-30%/36-60%	0.14	0.20	0.33	1

Tabela 6 Matriz de comparação par a par para distância de hidrografia.

	500m	1000m	2000m	4000m
500m	1	2	3	4
1000m	0.5	1	2	3
2000m	0.33	0.5	1	2
4000m	0.25	0.33	0.5	1

Tabela 7 Matriz de comparação par a par para distância de rodovias.

	10km	20km	30km	40km
10km	1	2	3	4
20km	0.5	1	2	3
30km	0.33	0.5	1	2
40km	0.25	0.33	0.5	1

Após comparar as classes de acordo com a sua importância conforme a escala fundamental de Saaty (1980) se realizou o cálculo dos pesos de cada classe, para tal se utilizou o software livre *Super Decisions*. A partir das matrizes de comparação par a par, gerou-se os pesos para cada classe de cada PI, conforme Tabela 8. A razão de consistência de todos os PI ficou abaixo de 0,10, sendo considerados aceitáveis.

Tabela 8 Tabela de pesos AHP para as classes.

PI	Classe	Peso	Razão de consistência
Solos	Argissolo	0.07	0.025
	Cambissolo	0.07	
	Gleissolo	0.03	
	Latossolo	0.34	
	Neossolo	0.16	
	Nitossolo	0.34	
Declividade	0-5%/0-15%	0.57	0.044
	5-10%/15-30%	0.26	
	10-20%/30-36%	0.12	
	20-30%/36-60%	0.06	
Distância hidrografia	500m	0.47	0.012
	1000m	0.28	
	2000m	0.16	
	4000m	0.10	
Distância rodovias	10km	0.47	0.012
	20km	0.28	
	30km	0.16	
	40km	0.10	

As classes de cada plano de informação foram ponderadas de acordo com os pesos da Tabela 8. Após, foi criada a matriz de comparação par a par também para os PI, um para o gotejamento (Tabela 9) e outro para pivô central (Tabela 10). Como para pivô central o risco de erosão e o consumo de água são maiores, foi considerada maior importância para declividade e distância de hidrografia. Já para irrigação por gotejamento que não ocorre estes problemas a maior importância foi dada para o tipo de solo, em relação aos outros.

Tabela 9 Matriz de comparação par a par entre PI para irrigação por gotejamento.

	Declividade	Distância hidrografia	Solos	Distância rodovias
Solos	1	2	3	5
Distância hidrografia	0.5	1	3	7
Declividade	0.33	0.33	1	5
Distância rodovias	0.2	0.14	0.2	1

Tabela 10 Matriz de comparação par a par entre PI para irrigação por pivô central.

	Declividade	Distância hidrografia	Solos	Distância rodovias
Declividade	1	1	2	7
Distância hidrografia	1	1	2	5
Solos	0.5	0.5	1	5
Distância rodovias	0.14	0.2	0.2	1

Então, a partir das matrizes de comparação par a par, gerou-se os pesos para cada PI para o gotejamento (Tabela 11) e para pivô central (Tabela 12). A razão de consistência de todos os PI ficou abaixo de 0,10, sendo aceitáveis.

Tabela 11 Pesos AHP para os PI para irrigação por gotejamento.

PI	Peso	Razão de consistência
Declividade	0.16	0.079
Distância hidrografia	0.34	
Distância rodovias	0.05	
Solos	0.45	

Tabela 12 Pesos AHP para os PI para irrigação por pivô central.

PI	Peso	Razão de consistência
Declividade	0.38	
Distância hidrografia	0.35	0.017
Distância rodovias	0.05	
Solos	0.22	

Após foi realizada uma operação de média ponderada a partir dos pesos das Tabelas 11 e 12, gerando as Equações 3 e 4.

$$Apt_{pivo} = 0,38 * declividade + 0,35 * hidrografia + 0,05 * Rodovias + 0,22 * solos \quad (3)$$

$$Apt_{gotejamento} = 0,16 * declividade + 0,34 * hidrografia + 0,05 Rodovias + 0,45 * solos \quad (4)$$

Para gerar o resultado final, foi aplicado uma operação booleana, multiplicando-se a máscara de áreas inaptas (0,1) pelo resultado da média ponderada, conforme Equações 5 e 6.

$$Aptidão_{pivo} = Apt_{pivo} * restr_{pivo} \quad (5)$$

$$Aptidão_{Gotejamento} = Apt_{gotejamento} * restr_{gotejamento} \quad (6)$$

Por fim, os resultados foram reclassificados em quatro classes de aptidão a irrigação: Muito Baixo, Baixo, Médio e Alto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultado da operação de média ponderada utilizando os pesos AHP para irrigação por gotejamento e por pivô central podem ser observados na Figura 11 e Figura 12, respectivamente. O resultado para irrigação por gotejamento mostra maiores áreas com alta aptidão quando comparas com o resultado para irrigação por pivô central.

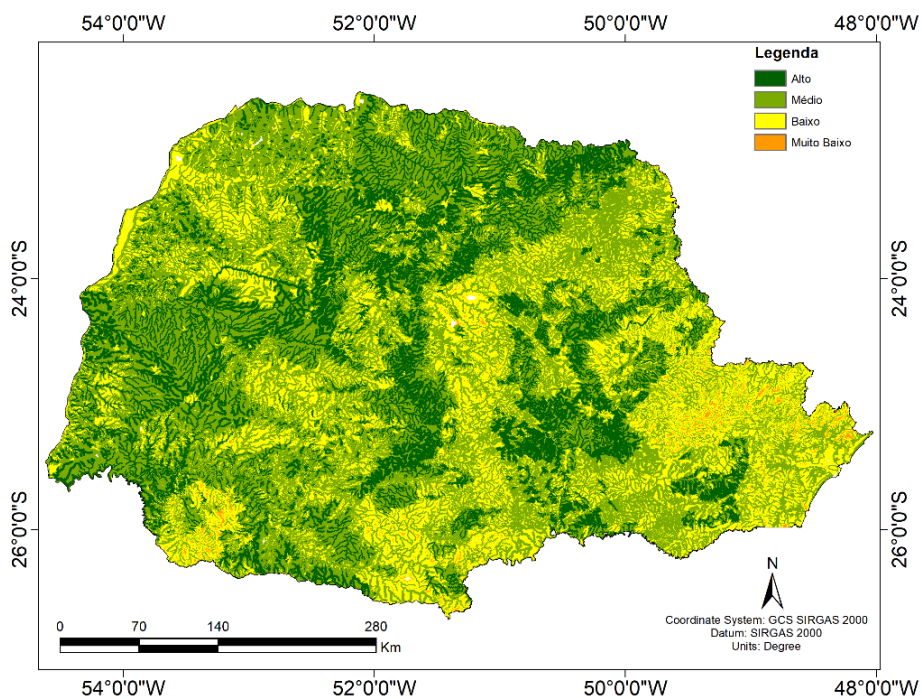


Figura 11 Resultado da operação de média ponderada utilizando os pesos AHP para irrigação por gotejamento.

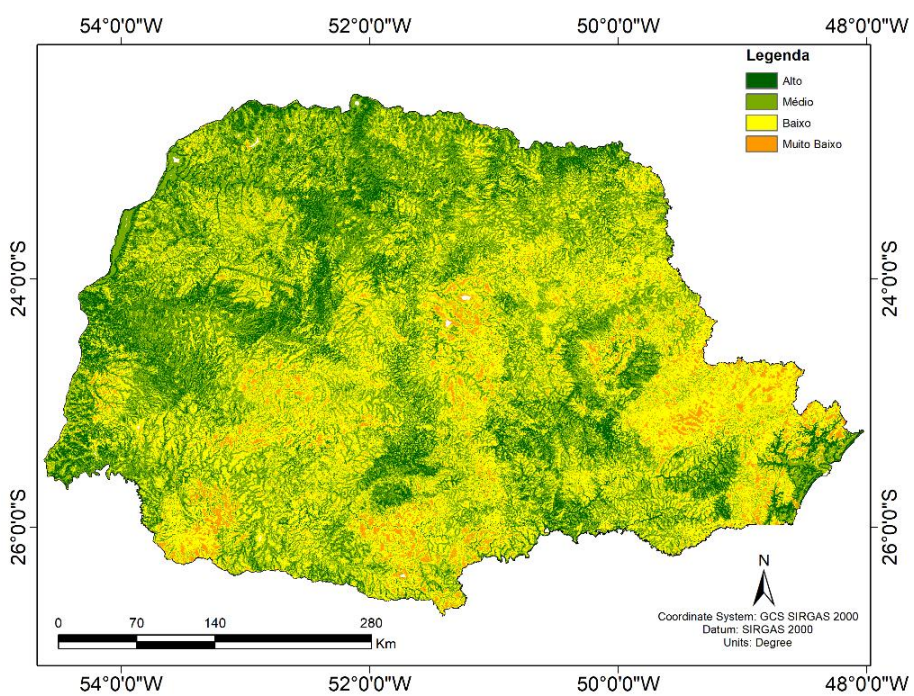


Figura 12 Resultado da operação de média ponderada utilizando os pesos AHP para irrigação por pivô central.

O resultado final após a operação booleana para retirar as áreas inaptas para irrigação por gotejamento e por pivô central é apresentado na Figura 14 e Figura 13, respectivamente. O cenário considerando a irrigação por pivô central mostra uma quantidade muito maior de áreas inaptas quando comparadas por gotejamento, isso se deve as restrições serem maiores para este sistema de irrigação.

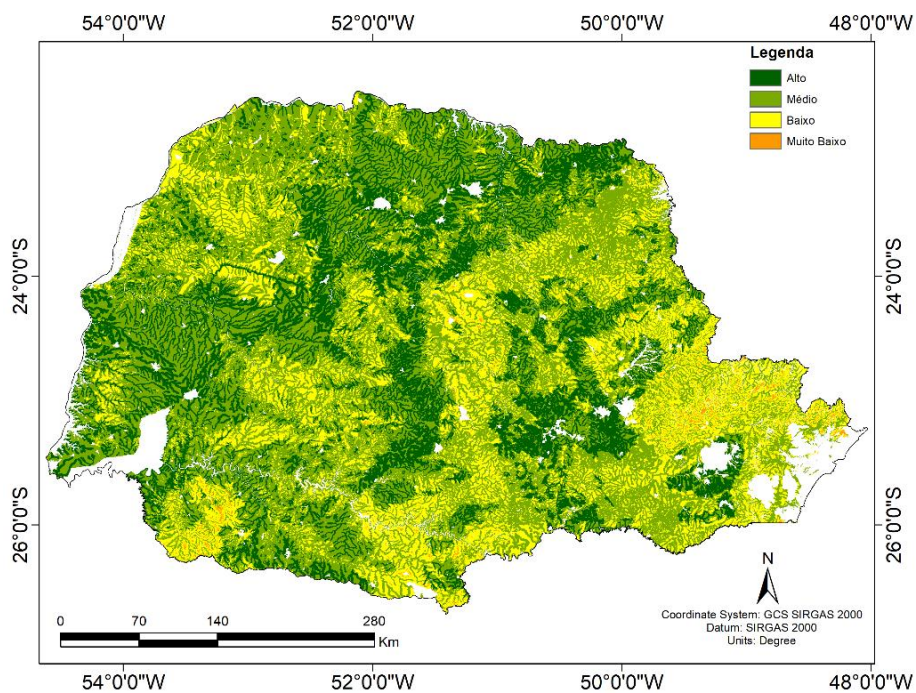


Figura 13 Classes de aptidão a irrigação por gotejamento.

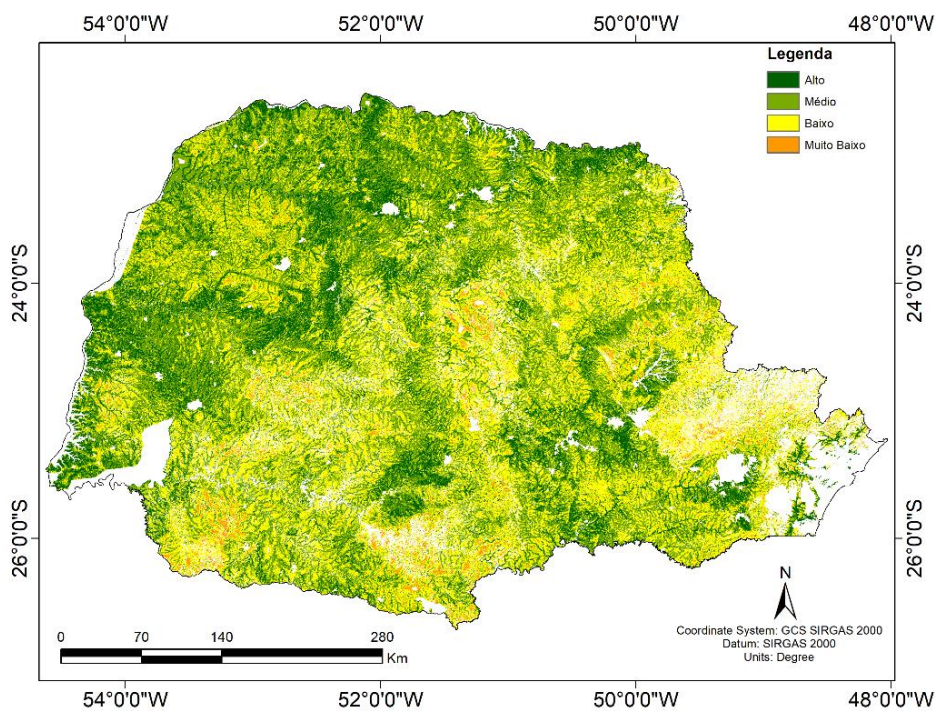


Figura 14 Classes de aptidão a irrigação por pivô central.

Observa-se que por haver menos restrições a irrigação por gotejamento, uma maior área com alta aptidão em comparação com o sistema de pivô central (Figura 15). No estado do Paraná a maior porcentagem é a classe de média aptidão, tanto para pivô central quanto para gotejamento.

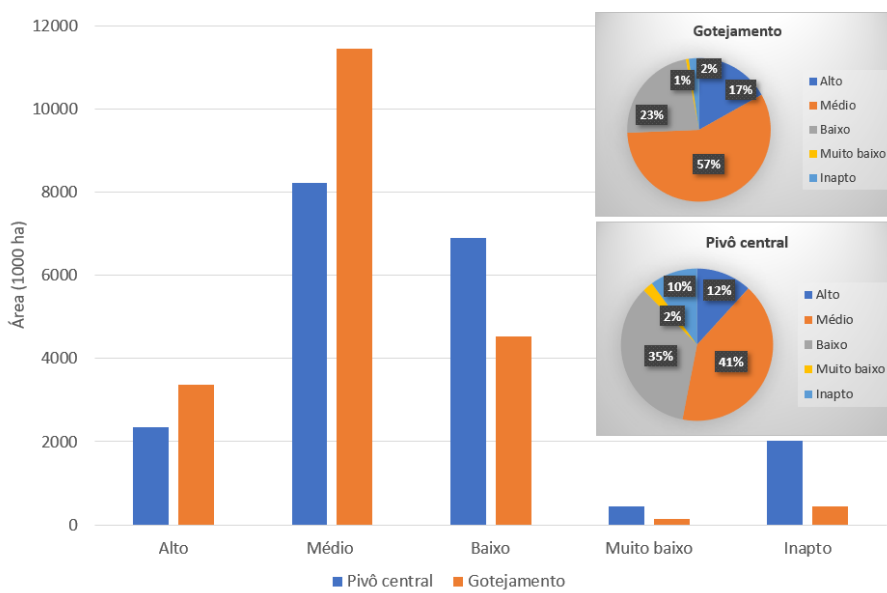


Figura 15 Área de cada classe de aptidão a irrigação.

As áreas com maior aptidão se localizam de oeste para norte do estado e na região central. Estas áreas têm características de terem menor declividade e solos com maior aptidão agrícola. As áreas com maior aptidão também coincidiram com áreas de produção de grãos como soja e milho (GRZEGOZEWSKI et al., 2016; SOUZA et al., 2015; ZHONG et al., 2016), como pode ser visto na Figura 16.



Figura 16 Mapeamento de soja e milho para a safra 2015 no estado do Paraná.
Fonte: Adaptado de Zhong (2016).

Pode haver incertezas associadas a metodologia utilizada, principalmente na escolha dos pesos das classes, pois mesmo utilizando a AHP pode haver divergências. Outra incerteza esta relacionada a hidrografia, pois não garantia de que a linhas representem rios com vazão suficiente para alimentar os sistemas de irrigação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se constatar que com os critérios adotados houve maior área apta a implantação do sistema de irrigação por gotejamento em comparação com o sistema de irrigação por pivô central. De acordo com os critérios adotados há maior área com média aptidão a irrigação. As áreas com maior aptidão coincidem com as áreas de produção de grãos no estado.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. **Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília - DF, 2017.

EMBRAPA. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Métodos de irrigação. Acesso em 23 de maio de 2018. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_72_16820051120.html

EMBRAPA. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Solos tropicais. Acesso em 24 de maio de 2018. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/Abertura.html

GRZEGOZEWSKI, D. M. et al. Mapping soya bean and corn crops in the State of Paraná , Brazil , using EVI images from the MODIS sensor. **International Journal of Remote Sensing**, v. 37, n. 6, p. 1257–1275, 2016.

LOBELL, D. B. et al. Prioritizing Climate Change Adaptation Need for Food Security in 2030. **Science**, v. 319, n. February, p. 607–610, 2008.

SOUZA, C. H. W. et al. Mapping and discrimination of soya bean and corn crops using spectro-temporal profiles of vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v. 36, n. 7, p. 1809–1824, 2015.

SAATY, T. L. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, 1980.

SANTOS, L. F.; CRUZ, R. B. C. O Uso do Método AHP na Tomada de Decisão para Seleção de Sistemas de Lajes de Edifícios Comerciais. *Engenharia Estudo e Pesquisa*. ABPE, V. 13, n.1, 39-52. 2013.

ZHONG, L. et al. Automated mapping of soybean and corn using phenology. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 119, p. 151–164, 2016.

VALERIANO, M. D. M. **Topodata : Guia Para Utilização de Dados e Modelagem de Dados Topográficos SRTM**, São José dos Campos, SP, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2008.