**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Método multidisciplinar de análise territorial para o fortalecimento da
agricultura irrigada: aplicação em políticas públicas**

Rodrigo Fernando Maule

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2020**

Rodrigo Fernando Maule
Engenheiro Agrônomo

Método multidisciplinar de análise territorial para o fortalecimento da agricultura irrigada: aplicação em políticas públicas

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **KLAUS REICHARDT**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Maule, Rodrigo Fernando

Método multidisciplinar de análise territorial para o fortalecimento da agricultura irrigada: aplicação em políticas públicas / Rodrigo Fernando Maule. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2020.

97 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Irrigação 2. Análise territorial 3. Conectividade 4. Políticas públicas I. Título

DEDICATÓRIA

À minha família: Juliana, Matheus e Gabriela que suportaram todos os momentos dessa longa jornada, aos companheiros do Grupo de Políticas Públicas da Esalq (GPP) que me apoiaram irrestritamente e a todos que de alguma forma contribuíam com sua experiência e aconselhamentos e com os quais divido mais essa grande conquista.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador professor Dr. Klaus Reichardt pelos ensinamentos, apoio e paciência proporcionados durante a condução desse trabalho.

Aos professores Dr. Durval Dourado Neto e Prof. Dr. Fabio Marin pelos ensinamentos e suporte para a realização desse doutoramento.

Aos outros professores da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” com quem tive a oportunidade de trocar experiências e receber conhecimento.

Agradecimento especial ao time do Grupo de Políticas Públicas da Esalq (GPP) – Beto, Simone, Marcela, Sergio, Pedro, Giovani, Adauto, Arthur e Gerd - pelos ensinamentos e companheirismo proporcionados ao longo dos anos.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

A todos os amigos e colaboradores, muito obrigado.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS.....	11
LISTA DE ABREVIATURAS	12
1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1. AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL	17
2.1.1. <i>Potencial de desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil</i>	<i>18</i>
2.2. MODELO DE ANÁLISE TERRITORIAL PARA O DESENVOLVIMENTO DA AGRICULTURA IRRIGADA	19
2.2.1. <i>O modelo desenvolvido: dos pressupostos e funcionalidade.....</i>	<i>19</i>
2.2.2. <i>Necessidade de irrigação, área adicional irrigável e área irrigada.....</i>	<i>20</i>
2.2.3. <i>Área irrigável e área irrigada no Brasil</i>	<i>26</i>
2.2.4. <i>Considerações sobre o possível aprimoramento da análise territorial para a agricultura irrigada.....</i>	<i>30</i>
2.3. ANÁLISE TERRITORIAL DA CONECTIVIDADE NO MEIO RURAL VISANDO A AUTOMAÇÃO REMOTA DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO DE PIVÔ CENTRAL	31
2.3.1. <i>Agro 4.0.....</i>	<i>31</i>
2.3.2. <i>Conectividade no meio rural</i>	<i>33</i>
2.3.3. <i>Modelos de simulação de alcance de intensidade do sinal de telefonia móvel 4G.....</i>	<i>34</i>
2.3.4. <i>Automação em sistemas de irrigação de pivô central</i>	<i>36</i>
2.4. ANÁLISE TERRITORIAL E POLÍTICAS PÚBLICAS	38
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3.1. APERFEIÇOAMENTO DE VARIÁVEIS DA METODOLOGIA DE ANÁLISE TERRITORIAL PARA A EXPANSÃO DA AGRICULTURA IRRIGADA	41
3.1.1. <i>Necessidade de irrigação da cultura (INic).....</i>	<i>41</i>
3.1.1.1. <i>Transposição dos principais meses de semeadura para a malha climática do Brasil</i>	<i>42</i>
3.1.1.2. <i>Junção dos principais meses de semeadura para as Ottobacias</i>	<i>43</i>
3.1.1.3. <i>Obtenção do Índice de Necessidade de Irrigação (INic) para as culturas</i>	<i>43</i>
3.1.2. <i>Área Irrigável (AI).....</i>	<i>45</i>

3.2. ANÁLISE TERRITORIAL VISANDO A COBERTURA DE BANDA LARGA (TECNOLOGIA 4G) PARA APLICAÇÃO NAS ÁREAS COM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO DO TIPO PIVÔ CENTRAL COM VISTAS À AUTOMAÇÃO.....	49
3.2.1. <i>Dados de entrada do modelo: localização das torres e parâmetros associados</i>	50
3.2.2. <i>Modelos e metodologia de processamento</i>	52
3.2.2.1. Modelo de Friis.....	52
3.2.2.2. Modelo Longley-Rice	52
3.2.2.3. Metodologia de processamento.....	53
3.3. INTERAÇÃO DOS MODELOS DE ANÁLISE TERRITORIAL PARA A EXPANSÃO DA AGRICULTURA IRRIGADA E ANÁLISE TERRITORIAL VISANDO A COBERTURA DE BANDA LARGA (TECNOLOGIA 4G) PARA APLICAÇÃO DIRECIONADA EM POLÍTICAS PÚBLICAS.....	53
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
4.1. NECESSIDADE DE IRRIGAÇÃO	55
4.1.1 <i>Principal mês de semeadura para as culturas de interesse em nível municipal</i>	55
4.2. ÁREA IRRIGÁVEL	58
4.3. ANÁLISE TERRITORIAL VISANDO A COBERTURA DE BANDA LARGA (TELEFONIA MÓVEL 4G) NAS ÁREAS COM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO DO TIPO PIVÔ CENTRAL COM VISTAS À AUTOMAÇÃO REMOTA ...	62
4.3.1. <i>Classificação das torres de telefonia móvel: tecnologia disponível (2G, 3G e 4G)</i>	62
4.3.2. <i>Qualidade da cobertura 4G</i>	65
4.3.2.1. Modelo de Friis.....	65
4.3.2.2. Modelo ITM.....	66
4.3.2.3. Comparação de resultados entre os modelos ITM e Friis	68
4.4. ÁREAS COM PIVÔ CENTRAL E QUALIDADE DA COBERTURA 4G PELO MODELO ITM	74
4.5. INTERAÇÃO DOS MODELOS DE ANÁLISE TERRITORIAL PARA A EXPANSÃO DA AGRICULTURA IRRIGADA DE SPAROVEK ET AL. (2014) E ANÁLISE TERRITORIAL VISANDO A COBERTURA DE BANDA LARGA (TECNOLOGIA 4G) PARA APLICAÇÃO DIRECIONADA EM POLÍTICAS PÚBLICAS	82
5. CONCLUSÕES.....	91
REFERÊNCIAS	93

RESUMO

Método multidisciplinar de análise territorial para o fortalecimento da agricultura irrigada: aplicação em políticas públicas

Muitas projeções apontam que o mundo terá que ampliar significativamente sua produção de alimentos para atender a crescente demanda e o Brasil é colocado como um dos principais atores globais nessa dinâmica. A irrigação da agricultura no Brasil é uma estratégia a ser desenvolvida para dar o salto de produtividade necessária para atender essa demanda. Políticas públicas direcionadas para esse fim são essenciais para que isso possa ocorrer dentro de um cenário planejado e controlado. Nesse sentido foram desenvolvidas modelos espacialmente explícitos para fornecer informações úteis para orientar a tomada de decisão de gestores públicos quanto ao desenvolvimento de políticas para promover a agricultura irrigada. Variáveis como área adicional disponível para irrigação e cobertura de sinais telefonia (internet) no campo foram modelados. Os resultados mostraram que há entre 68 e 75 Mha de área com potencial para expansão da irrigação, entretanto, apenas 5% dos pivôs centrais hoje poderiam ser automatizados remotamente usando conectividade a partir de sinal excelente de telefonia celular móvel banda larga 4G. Nesse sentido é necessário que o aperfeiçoamento de infraestrutura por meio de suas políticas públicas específicas esteja alinhado às políticas públicas de promoção da agricultura irrigada visando atingir metas de desenvolvimento rural sustentável no curto, médio e longo prazos.

Palavras-chave: Irrigação, Análise territorial, Conectividade, Políticas públicas

ABSTRACT

Multidisciplinary method of territorial analysis for the strengthening of irrigated agriculture: application in public policies

Many projections point out that the world will have to significantly expand its food production to meet growing demand and Brazil is placed as one of the main global players in this dynamic. Agricultural irrigation in Brazil is a strategy to be developed to make the leap in productivity needed to meet this demand. Targeted public policies are essential for this to occur within a planned and controlled scenario. In this sense, spatially explicit models were developed to provide useful information to guide the decision making of public managers regarding the development of policies to promote irrigated agriculture. Variables such as additional area available for irrigation and field telephone (internet) signal coverage were modeled. The results showed that there is between 68 and 75 Mha of area with potential for irrigation expansion, however, only 5% of center pivots today could be remotely automated using connectivity from excellent 4G broadband mobile phone signal. In this sense, it is necessary that the improvement of infrastructure through its specific public policies is aligned with the public policies for the promotion of irrigated agriculture aiming to reach sustainable rural development goals in the short, medium and long term.

Keywords: Irrigation, Territorial analysis, Connectivity, Policy

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil: designação de ação para classes territoriais	27
Figura 2. Decomposição de um trajeto hipotético entre transmissor e receptor pelo modelo ITM	35
Figura 3. Malha climática com a classificação Köppen-Geiger para o Brasil.	42
Figura 4. Distribuição espacial das 81.282 estações do Brasil.....	51
Figura 5. Principal mês de semeadura para milho sequeiro e irrigado em nível municipal.	55
Figura 6. Principal mês de semeadura para feijão sequeiro e irrigado em nível municipal.	56
Figura 7. Principal mês de semeadura para arroz sequeiro e irrigado em nível municipal.	57
Figura 8. Principal mês de semeadura para soja sequeiro e irrigada em nível municipal.	58
Figura 9. Principal mês de plantio para cana-de-açúcar sequeiro e irrigado em nível municipal.	58
Figura 10. Área irrigável no cenário menos restritivo	60
Figura 11. Área irrigável no cenário mais restritivo	60
Figura 12. Classificação da frequência das antenas de telefonia para tipo de tecnologia móvel no Brasil.	63
Figura 13. Superfície de cobertura da tecnologia 4G – modelo Friis.....	65
Figura 14. Superfície de cobertura da tecnologia 4G – modelo ITM.....	67
Figura 15. Diferença entre os modelos utilizados para uma única antena no estado do Pará.	69
Figura 16. Diferença entre os modelos ITM e Friis, porcentagem de área coberta com sinal excelente (4G).	70
Figura 17. Percentual de municípios com cobertura excelente de 4G, por região (Friis e ITM)	71
Figura 18. Classificação dos municípios brasileiros quanto ao sinal excelente de 4G.	73
Figura 19. Área média com pivô central.	74
Figura 20. Municípios com e sem pivô central.	76
Figura 21. Percentual de área de pivôs com cobertura de sinal 4G excelente.....	78
Figura 22. Percentual de área de pivôs sem cobertura de sinal 4G.	78
Figura 23. Disponibilidade de sinal de internet banda larga 4G nas áreas de expansão (mapa superior) e estoque - reserva técnica (mapa inferior).	84

Figura 24. Disponibilidade de sinal de internet banda larga 4G nas áreas de manutenção e redirecionamento (mapa superior) e de Interesse elevado de intervenção pública (mapa inferior). 86

Figura 25. Classe territorial de agricultura irrigada conectada. 88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Chave de três itens (necessidade de irrigação, área adicional irrigável e área irrigada) gerando as duas classes: (i) classe territorial de agricultura irrigada e (ii) classe de prioridade	21
Tabela 2. Chave de classificação das variáveis que definem a prioridade de irrigação	23
Tabela 3. Combinação da chave física com a chave de prioridade	24
Tabela 4. Classes sugeridas suas respectivas interpretações	26
Tabela 5. Área irrigada, adicionalmente irrigável, e total irrigável para as classes de território resultantes da combinação da chave física com a chave de prioridade	28
Tabela 6. Valores de ETr/ETccrítica para as culturas selecionadas	45
Tabela 7. Dados da distribuição de antenas no Brasil	50
Tabela 8. Relação de cada tecnologia com as respectivas frequências	51
Tabela 9. Valores de referência para reclassificação da qualidade do sinal	53
Tabela 10. Combinação de chave física do modelo de Sparovek et al. (2014) e classe de sinal de internet banda larga 4G	54
Tabela 11. Área irrigável para os cenários mais e menos restritivo.	61
Tabela 12. Dados da distribuição de antenas no Brasil	62
Tabela 13. Distribuição das antenas por tipo de tecnologia móvel disponível.....	64
Tabela 14. Percentual de sinal 4G excelente nos territórios estaduais a partir do modelo Friis	66
Tabela 15. Percentual de sinal 4G excelente nos territórios estaduais a partir do modelo ITM	68
Tabela 16. Pivôs centrais por Unidade da Federação.....	75
Tabela 17. Quantitativo de pivôs centrais e área com cobertura de sinal 4G excelente.....	79
Tabela 18. Quantitativo de pivôs centrais e área sem cobertura de sinal 4G	81
Tabela 19. Disponibilidade de sinal de internet banda larga 4G em áreas de classes territorial de agricultura irrigada.	83
Tabela 20. Chave de classificação territorial resultante da interação dos modelos: potencial da agricultura irrigada.	85

LISTA DE ABREVIATURAS

ABIMAQ	Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos
AI	Área Irrigável
ANA	Agência Nacional de Águas
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
APP	Área de Preservação Permanente
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETr	Evapotranspiração real
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INlc	Necessidade de irrigação da cultura
ISNA	Índice de Satisfação da Necessidade de Água
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
Mha	Mega hectares (10^6 x hectares). Unidade de área
MI	Ministério da Integração Nacional
PNI	Política Nacional de Irrigação
PRH	Planos de Recursos Hídricos
RL	Reserva Legal
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
TI	Terras Indígenas
UC	Unidade de Conservação
UF	Unidade da Federação
USP	Universidade de São Paulo

1. INTRODUÇÃO

A oferta de alimentos no mundo não tem acompanhado a demanda que resulta do crescimento da população e também do aumento do seu poder de compra. Na última década houve uma redução significativa (cerca de 50%) do estoque global de alimentos, o que é preocupante sob o ponto de vista da segurança alimentar. Muitas projeções apontam que até 2050 o mundo terá que ampliar significativamente sua produção de alimentos para atender a crescente demanda decorrente, em parte, do rápido processo de urbanização de nações muito populosas, como China e Índia (ONU, 2018; FAO, 2019). A renda per capita média também tem evoluído nos países desenvolvidos e emergentes, o que pressiona para cima o crescimento do consumo no mundo. Aliado a esse cenário, diversos estudos apontam um estoque mundial de áreas para ampliação da produção bastante reduzida, sendo que a elevação da produção de alimentos deverá ser pautada pelo aumento da produtividade (TILMAN et al., 2011; VAN ITTERSUM et al., 2013; MARIN et al., 2016).

Diversas variáveis podem influenciar o aumento da produtividade nas áreas de produção: utilização de mais insumos (fertilizantes, corretivos, entre outros), espécies vegetais mais adaptadas (melhoramento genético) e alteração de manejo (produção em ambiente mais controlado). Nesse contexto, a produção em áreas irrigadas passa a ter um papel importante, pois permite a intensificação da produção minimizando a pressão por expansão de área (SAATH & FACHINELLO, 2018). Também cabe destacar que o uso de irrigação permite a ocupação de áreas que apresentam restrições de uso agrícola por falta de chuvas. De acordo com ANA (2017), a produtividade de culturas irrigadas é de 2 a 3 vezes maior em relação à agricultura de sequeiro. Em termos econômicos, o ganho com a irrigação é ainda mais expressivo. A produtividade econômica decorrente da venda dos produtos irrigados é cerca de cinco vezes maior daquele obtida com os produtos da agricultura tradicional.

O Brasil está entre os dez países com a maior área irrigada do mundo, segundo dados da FAO (2017). Os líderes mundiais são a China e a Índia, com cerca de 70 milhões de hectares (Mha) cada, seguidos dos EUA (26,7 Mha), do Paquistão (20,0 Mha) e do Irã (8,7 Mha) (ANA, 2017). Entretanto, a irrigação no Brasil é considerada pequena frente ao potencial estimado (ANA, 2017).

Assim, a ampliação da agricultura irrigada no Brasil pode contribuir em muito para o aumento de produtividade, entretanto o estímulo dessa prática via políticas públicas deve ser pautado por um planejamento sólido que congregue diversos elementos produtivos, ambientais, sociais e econômicos, permitindo não só aumento da produtividade, como também o desenvolvimento territorial sustentável e gerador de renda para todas as parcelas de agricultores.

A abordagem da análise territorial para a configuração de cenários de expansão da agricultura irrigada para fins de planejamento e gestão pode possibilitar uma maior focalização de questões imprescindíveis ao desenvolvimento rural sustentável, sendo possível aplicar em políticas públicas elementos fundamentais para a tomada de decisão de gestores. A busca por desenvolver uma abordagem de análise territorial alicerçada na modelagem espacial como instrumento de planejamento

estratégico para estimular a expansão da agricultura irrigada pode possibilitar: (i) avançar na visão da espacialização das políticas públicas voltadas à agricultura irrigada, identificando seus impactos e resultados nos territórios; (ii) visualizar de forma clara as configurações estabelecidas, considerando as principais variáveis de interesse para o meio rural de modo integrado; (iii) oferecer os elementos para o direcionamento dos instrumentos e políticas disponíveis, visando a ampliação da capacidade de dinamização econômica da agricultura e dos territórios de modo geral; e (iv) qualificar as ações voltadas para o desenvolvimento de uma agricultura irrigada de base limpa e sustentável.

Recentemente foi elaborado o estudo “Análise Territorial e Políticas para o Desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil” (SPAROVEK et al., 2014) que trabalhou a sistematização, o tratamento e a análise integrada de dados essenciais para o planejamento da agricultura irrigada no Brasil. Esse estudo visou suprir as necessidades de um modelo de análise territorial espacialmente explícito, capaz de oferecer elementos para a avaliação do território, com base em variáveis que configuram a realidade e a aderência das políticas executadas pelo então Ministério da Integração Nacional (MI), atual Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR).

O estudo apresentou um arranjo lógico e uma combinação de variáveis para o processo de desenvolvimento da agricultura irrigada. A modelagem utilizada ofereceu uma visão espacial das necessidades de irrigação, das oportunidades de ações, das possibilidades de modernização e eficiência do uso da terra no Brasil e da aplicação das demais políticas de fortalecimento da agricultura irrigada, visando o desenvolvimento rural sustentável. Deve-se mencionar que este estudo foi utilizado como uma referência para a elaboração do “Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada”, da Agência Nacional de Águas (ANA, 2017).

A dinâmica de processamento e geração de resultados que a ciência de dados atual pode proporcionar a partir das evoluções recentes, principalmente na área computacional, é fator essencial para o aprimoramento das análises territoriais voltadas para apoiar o fortalecimento da agricultura irrigada, visto que estas análises envolvem grande quantidade de componentes e escalas de trabalho, trazendo complexidade para a representação da realidade. Como exemplo de aplicação prática proporcionada pela ciência de dados neste campo está a agregação de indicadores de disponibilidade e qualidade de energia elétrica no meio rural, que auxilia na avaliação e representação de áreas com potencial de expansão da irrigação, conforme estudo de Assunção (2018).

O presente trabalho teve por objetivo geral demonstrar o potencial da ciência de dados na orientação de políticas públicas voltadas à agricultura irrigada utilizando ferramentas de análise territorial multicriterial. A metodologia desenvolvida é baseada na combinação de variáveis que buscam explicitar representações simplificadas e agregadas de diferentes temas, facilitando a interpretação aplicada uma vez que a grande quantidade de componentes envolvidos e escalas de ocorrência trazem muita complexidade para a representação da realidade.

Para tanto, buscou-se ampliar o estudo de Sparovek et al. (2014), que analisou o potencial de expansão da agricultura irrigada no Brasil, propondo o aperfeiçoamento e desenvolvimento de

modelos para gerar informação territorial suficientemente robusta e de abrangência nacional em relação à qualidade do espaço rural para desenvolvimento e expansão da agricultura irrigada. As variáveis foram desenvolvidas para compor a metodologia de classificação territorial para o estabelecimento de ações e diretrizes, dando suporte à elaboração de políticas públicas. Adicionalmente ao aperfeiçoamento das variáveis utilizadas por Sparovek et al. (2014), buscou-se o desenvolvimento de um modelo de análise territorial da cobertura de internet em banda larga (tecnologia 4G) aplicado em áreas com sistema de irrigação do tipo pivô central, a fim de avaliar a possibilidade de automação remota. Posteriormente buscou-se integrar este novo modelo ao estudo de Sparovek et al. (2014) para demonstrar o dinamismo da ferramenta e seu potencial para a utilização por gestores públicos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Agricultura irrigada no Brasil

A utilização da irrigação acontece desde as antigas civilizações. No Brasil, esta prática ocorre desde o início da década de 1900, quando auxiliava a produção de arroz no Rio Grande do Sul (ANA, 2017). A irrigação é fundamental para o aumento da produtividade, garantindo assim, a estabilidade na produção de alimentos. Além disso, esta técnica minimiza os riscos climáticos e otimiza o uso de insumos e equipamentos. Em regiões áridas e semiáridas, a irrigação é imprescindível, pois nestas áreas a segurança produtiva é bastante afetada pela escassez contínua de água.

Segundo dados da FAO (2017), o Brasil está entre os dez países com a maior área equipada para irrigação do mundo. Nesta classificação, o país pertence ao grupo que possui área entre 4 e 7 Mha, que inclui Tailândia, México, Indonésia, Turquia, Bangladesh, Vietnã, Uzbequistão, Itália e Espanha. No último levantamento realizado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), o Brasil possuía cerca de 6,95 Mha de área irrigada, utilizando diversas técnicas de irrigação. Destes, a região que apresenta a maior extensão de área irrigada é a Sudeste, com 2,71 Mha, seguida por Sul (1,70), Centro-Oeste (1,18), Nordeste (1,17) e Norte (0,19). Entre os anos de 1960 e 2015 a área irrigada no Brasil saltou de 0,45 para 6,95 Mha. Além disso, de acordo com ANA e EMBRAPA (2019), ocorreu aumento de 43,3% (+382 mil ha) na área irrigada entre 2006 e 2014, especialmente utilizando pivô central. Os dados dos últimos Censos Agropecuários do IBGE também reforçam o aumento expressivo dos pivôs no Brasil. Os pivôs expandiram-se sobre 542 mil hectares entre os levantamentos de 2006 e 2017, aumentando sua participação de 19,6% para 20,8% em relação aos demais métodos e sistemas de irrigação levantados pela pesquisa ANA e EMBRAPA (2019).

Em 2017 a ANA divulgou o Atlas de Irrigação do Brasil, onde foi demonstrado o uso da água na agricultura irrigada em cada região e Unidade da Federação (UF). São Paulo, Minas Gerais, Tocantins e Bahia são os estados que mais apresentam áreas irrigadas. A região Norte apresenta baixo desenvolvimento da agricultura irrigada, o que representa 2,8% da área irrigada do país, ressaltando que a maior parte deste valor é devido as áreas de arroz irrigado no Tocantins. Logo após a região Norte está a região Nordeste, com 16,8% das áreas irrigadas brasileiras. A região Centro-Oeste foi a região com maior expansão na área irrigada nos últimos 20 anos, chegando a 17% no ano de 2015, o que representa uma área plantada de 1,2 Mha. A região Sul, pioneira em irrigação no país, é a segunda maior, com 24,4% das áreas irrigadas brasileiras. Por fim, a região Sudeste apresenta a maior área irrigada do país (34% das áreas irrigadas brasileiras) e vem apresentando aumento expressivo nos últimos anos. Nesta região, São Paulo e Minas Gerais representam 87,9% do total de área irrigada (ANA, 2017).

No intuito de contribuir com informações e colaborar com o trabalho de todos os envolvidos com a agricultura irrigada no Brasil, os fabricantes de sistemas de irrigação associados à Câmara Setorial de Equipamentos de Irrigação da ABIMAQ sistematizam informações sobre a evolução da expansão da agricultura irrigada no país desde de 2000 (ABIMAQ, 2019). As informações indicam que em 2000 o país tinha 3.068.480 hectares irrigados, passando para 6.023.087 hectares em 2018, ou seja, uma expansão média de 161.744 hectares por ano. Se considerados apenas os últimos 5 anos, essa média salta para 205.316 hectares de expansão por ano.

No entanto, pode-se dizer que a irrigação no Brasil é considerada pequena frente ao potencial estimado, à área agrícola total, à extensão territorial e ao conjunto de fatores físico-climáticos favoráveis, inclusive a boa disponibilidade hídrica. De acordo com estudo realizado por Borghetti et al. (2017), o Brasil teria potencial para aumentar a área irrigada em 4,5 Mha até 2024, um salto de 65%, em relação a área irrigada atual.

2.1.1. Potencial de desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil

Segundo dados da FAO (2011), o Brasil está entre os quatro países com maior área potencial para irrigação. Sparovek et al. (2014) verificaram uma área que 2,2 Mha (37% da área irrigada em 2012) que estão em regiões que não contam com a possibilidade de expansão pelo esgotamento da água disponível e 2,7 Mha (44% da área irrigada em 2012) que se encontram em regiões em que há importante possibilidade de expansão, porém fora de áreas de prioridade de intervenção pública; e ainda 1,1 Mha (19% da área irrigada em 2012) estão em localidades com possibilidade de expansão onde se justifica intervenção pública com o objetivo de desenvolver a região de forma sustentável. Essas mesmas regiões concentram 36% da capacidade adicional de área irrigável (27 Mha) do Brasil.

Quanto ao potencial de expansão da área irrigada no Brasil, os dados consolidados pelo Atlas Irrigação da ANA apontam áreas adicionais irrigáveis de até 76,2 Mha (potencial físico total) e ressaltam a acelerada expansão da agricultura irrigada no Brasil tanto ao longo das décadas (longo prazo) quanto no período recente, com forte aceleração no curto prazo (última década). O indicador de potencial efetivo de expansão que considera apenas áreas de maior aptidão física e existência de condições técnicas favoráveis, escoamento da produção e energia elétrica, apresentou um volume de 11,2 Mha (ANA e EMBRAPA, 2019).

Considerando a ainda pequena área irrigada do Brasil frente à sua área adicional irrigável, o desenvolvimento da agricultura irrigada apresenta enorme potencial por interesses movidos: (i) pelos ganhos de eficiência e redução de risco de insucesso da produção agrícola, (ii) pela promoção de desenvolvimento social e econômico em regiões propícias à intensificação da produção ou limitadas pela escassez ou irregularidade do regime natural das chuvas, (iii) pela redução de impactos ambientais, dada a menor necessidade de expansão da área agrícola face às maiores produtividades dos

cultivos irrigados, e (iv) pela segurança alimentar considerada a possibilidade de produção eficiente próxima aos centros de consumo e em maior amplitude de condições climáticas (ANA, 2017).

Estes interesses são compartilhados pelo setor público, pela promoção do bem-estar coletivo, e privado, pela maior competência produtiva alcançada pelo agricultor, seja ele pequeno ou grande (CHRISTOFIDIS, 2002).

2.2. Modelo de análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada

Antecedendo ao aperfeiçoamento do modelo de análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada, apresentado no capítulo 3 (Material e Métodos), a seguir é apresentado um resumo do modelo de Sparovek et al. (2014).

2.2.1. O modelo desenvolvido: dos pressupostos e funcionalidade

A análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil se refere ao estudo de modelagem espacial de cobertura nacional desenvolvido por Sparovek et al. (2014), o qual considera a área agrícola irrigada e a adicionalmente irrigável do Brasil no contexto de sua governança pública e privada, contemplando o ambiente físico com temas ambientais, sociais e econômicos. O modelo trata de representações simplificadas e agregadas de diferentes temas contemplados por intermédio de chaves classificatórias. A metodologia desenvolvida auxilia a melhor compreensão da realidade, possibilitando testar cenários com o caráter quantitativo dos métodos e a representação espacial precisa das variáveis.

O modelo proposto não deve, portanto, ser usado como substituo de qualquer outro processo de apoio à decisão local que seja capaz de captar a complexidade específica. Seu uso, no entanto, permite a visão ampla da complicação do problema, além de possibilitar um ponto de partida importante para as análises locais. As realidades locais estão relacionadas com a complicação que certamente capta parte de sua dinâmica, componentes e comportamento.

Apenas a título de comparação, conhecer, por exemplo, o efeito geral que uma falha do metrô produz sobre o trânsito não permite saber se virar a próxima rua a direita vai ser melhor do que seguir um pouco mais e pegar o viaduto, mas é um forte indicativo de que a viagem será mais longa e permite orientar decisões ligadas a este conceito, por exemplo, avisar do atraso, mas sem saber exatamente quanto.

O desenvolvimento da agricultura irrigada precisaria contemplar uma metodologia que ao mesmo tempo considerasse complicação e complexidade. Um sistema apenas complicado, sem ser complexo, poderia ser precisamente representado por modelos que desconsideram as relações não lineares entre múltiplas escalas.

O ideal, no caso do desenvolvimento da agricultura irrigada, seria considerar um modelo que lidasse bem com ambos, a complexidade e a complicação. Mas, infelizmente, a modelagem de sistemas ao mesmo tempo complicados e complexos ainda não tem amparo metodológico adequado na ciência.

Para retratar a complexidade é preciso abrir mão da complicação. Para considerar todos os componentes envolvidos, a complicação, é preciso desconsiderar em parte a complexidade, ignorando as relações não lineares entre escalas progressivamente menores.

O modelo de Sparovek et al. (2014) opta pela complicação ao invés da complexidade, sendo esperado que gere resultados distintos quando medidos em escala mais detalhada.

As bases de dados do modelo são essencialmente quantitativas, processando variáveis físicas (p.e. vazão dos rios e evapotranspiração das plantas), dados censitários (p.e. valor da produção da agricultura, renda rural), ou índices derivados de modelos físicos de representação de realidades mais complexas (p.e. topografia, déficit hídrico e atributos do solo convertidos em classes de aptidão agrícola).

Além do caráter quantitativo, por vezes redefinido em categorias, os autores atribuíram dimensão espacial ao conjunto de dados. A dimensão espacial é essencial para o relacionamento dos dados com outros temas ligados ao meio ambiente (como interesse para conservação, áreas sob proteção pública ou privada), à legislação (Código Florestal) e de caráter geral do ambiente rural, como características da matriz produtiva (familiar ou não familiar) e pobreza rural.

A relação espacial explícita é imprescindível para comparar todas estas dimensões com a escala de manifestação da realidade física da agricultura irrigada, que é a sua bacia hidrográfica. De acordo com Sparovek et al. (2014), a modelagem exigiu grande esforço metodológico, tornando os métodos de difícil operação por usuários não especializados no seu nível mais próximo aos dados. A interface com o usuário final, traduzida por uma ferramenta de consulta, foi, por isto, simplificada.

Desta maneira, a interface com o usuário final preservou as características de modelos de análise narrativa. Para o usuário final a parte quantitativa do modelo é transparente. A este é permitido entender facilmente o relacionamento das diversas partes do modelo através de duas chaves de perguntas que remetem a conceitos de lógica narrativa.

2.2.2. Necessidade de irrigação, área adicional irrigável e área irrigada

A primeira chave do modelo de Sparovek et al. (2014) remete às perguntas sobre os aspectos físicos do desenvolvimento da irrigação e são tratadas na escala de Ottobacias de nível 12, num total de 168.843 em todo o país, com área média de cerca de 5 mil hectares. A necessidade de irrigação da bacia foi classificada em alta, média ou baixa. As classes refletem o nível de restrição hídrica ao qual as culturas de milho (*Zea mays*) e de feijão (*Phaseolus vulgaris*) estão sujeitas durante seu ciclo completo de desenvolvimento. Sendo assim, espera-se aumento de produtividade sob irrigação quando

comparado ao cultivo de sequeiro tanto de milho (semeado em agosto) quanto de feijão (semeado em março). Quanto maior a necessidade de irrigação, maior será a diferença de produtividade. Em suma, esta variável reflete o benefício esperado da irrigação.

A segunda chave remete à pergunta referente à área adicional irrigável (muito, médio ou pouco) na Ottobacia de nível 12. As classes usam como *proxy* de categorização a área irrigável adotando metade do volume outorgável não utilizado de água dos rios da Ottobacia de nível 12, após descontadas as áreas protegidas tanto de domínio público, como as Unidades de Conservação (UCs) e Terras Indígenas (TIs), quanto de domínio privado, como as Áreas de Preservação Permanente (APP) e as áreas de Reserva Legal (RL), além das áreas já utilizadas com irrigação.

A terceira chave remete à pergunta referente à área irrigada da bacia, a qual pode ser muito ou médio (combinados) ou pouco. As classes foram concebidas com base nos dados fornecidos pela ANA sobre área irrigada para o ano de 2012. Essa variável denota a infraestrutura existente na Ottobacia de nível 12, bem como a capacidade e estratégia consolidadas para suporte de agricultura irrigada. Essa variável pode indicar locais em que a agricultura irrigada já faz parte da matriz produtiva. Sendo assim, pode nortear os futuros planos de expansão ou de apoio. A **Tabela 1** mostra as classes derivadas das três chaves do modelo.

Tabela 1. Chave de três itens (necessidade de irrigação, área adicional irrigável e área irrigada) gerando as duas classes: (i) classe territorial de agricultura irrigada e (ii) classe de prioridade

Necessidade de irrigação	Área adicional irrigável	Área irrigada	Classe territorial de agricultura irrigada (Nível 1)	Classe de prioridade (Nível 2)
Alta	Muito	Muito ou médio	Expansão	Alta
		Pouco	Reserva técnica	Alta
	Médio	Muito ou médio	Expansão	Alta
		Pouco	Reserva técnica	Média
	Pouco	Muito ou médio	Manutenção e redirecionamento	Alta
		Pouco	Outra estratégia de desenvolvimento	
Média	Muito	Muito ou médio	Expansão	Média
		Pouco	Reserva técnica	Baixa
	Médio	Muito ou médio	Expansão	Média
		Pouco	Outra estratégia de desenvolvimento	
	Pouco	Muito ou médio	Manutenção e redirecionamento	Média
		Pouco	Outra estratégia de desenvolvimento	
Baixa	Muito	Muito ou médio	Expansão	Baixa
		Pouco	Não prioritário	
	Médio	Muito ou médio	Expansão	Baixa
		Pouco	Outra estratégia de desenvolvimento	

Pouco	Muito ou médio	Manutenção e redirecionamento	Baixa
	Pouco	Outra estratégia de desenvolvimento	

Fonte: Adaptado de Sparovek et al. (2014).

Salienta-se o significado dos seguintes termos: (i) área de expansão: são áreas que representam as combinações onde existe tanto o potencial de expansão adicional quanto a área de agricultura irrigada já estabelecida. A infraestrutura, a tecnologia, os serviços de apoio, o conhecimento acumulado sobre a técnica de irrigação já estão na Ottobacia de nível 12, a qual apresenta potencial de expansão da área irrigada, (ii) área de reserva técnica: representa a combinação de muita área adicional irrigável e pouca área irrigada, consequentemente a infraestrutura, os serviços e o conhecimento da técnica não estão disponíveis pela falta de área efetivamente irrigada. Os investimentos e os esforços para o desenvolvimento da agricultura irrigada nessas áreas serão maiores. O termo reserva técnica indica que a implantação de irrigação ou sua expansão é possível, mas não prontamente. São as áreas de expansão futura, (iii) manutenção e redirecionamento: representa a combinação de pouca área adicional irrigável e muita área irrigada, ou seja, o potencial que havia já está sendo plenamente utilizado. Expandir levaria a impactos ambientais ou a conflitos pelo uso da água com outros usos. Manter o que existe de irrigação num primeiro momento e redirecionar o desenvolvimento da bacia para usos que não impliquem em irrigação adicional são sugeridos como dinâmica para esta classe, e (iv) outra estratégia de desenvolvimento: representa combinação de pouca área adicional irrigável e ainda pouco ou não estabelecimento de irrigação na bacia. O desenvolvimento da bacia nesta combinação deve procurar outras opções que não a irrigação, independente da sua necessidade ou não.

As classes, com exceção da classe outra estratégia de desenvolvimento, são subdivididas de acordo com a necessidade de irrigação em relação à alta, média ou baixa prioridade.

A segunda chave remete às perguntas sobre a tipologia do agricultor (familiar ou não familiar), a aptidão agrícola das terras em cultivo de sequeiro, ao desenvolvimento rural e ao interesse ambiental de conservação. Esta chave define de forma mais abrangente e completa a prioridade de irrigação, quem se beneficia dela, e a forma e intensidade de intervenção pública ou privada. A **Tabela 2** mostra as classes de prioridade de irrigação, de acordo com Sparovek et al (2014).

Tabela 2. Chave de classificação das variáveis que definem a prioridade de irrigação

Dinâmica agrícola	Desenvolvimento municipal	Aptidão agrícola	Interesse ambiental	Classe territorial rural (Nível 1)	Classe territorial rural específica (Nível 2)	Classe territorial rural específica e orientação (Nível 3)
Não familiar	Alto	Alto ou média	Extremo	Estável	Estável-não familiar	Estável-não familiar (orientação sustentável)
			Não Extremo	Estável	Estável-não familiar	Estável-não familiar (orientação produtiva)
		Baixo	Extremo	Independente	Independente-não familiar	Independente-não familiar (orientação sustentável)
			Não Extremo	Independente	Independente-não familiar	Independente-não familiar (orientação produtiva)
	Médio ou baixo	Alto ou média	Extremo	Alterável	Alterável-não familiar	Alterável-não familiar (orientação sustentável)
			Não Extremo	Alterável	Alterável-não familiar	Alterável-não familiar (orientação produtiva)
		Baixo	Extremo	Apoiada	Apoiada-não familiar	Apoiada-não familiar (orientação sustentável)
			Não Extremo	Apoiada	Apoiada-não familiar	Apoiada-não familiar (orientação produtiva)
Coexistente	Alto	Alto ou média	Extremo	Estável	Estável-coexistente	Estável-coexistente (orientação sustentável)
			Não Extremo	Estável	Estável-coexistente	Estável-coexistente (orientação produtiva)
		Baixo	Extremo	Independente	Independente-coexistente	Independente-coexistente (orientação sustentável)
			Não Extremo	Independente	Independente-coexistente	Independente-coexistente (orientação produtiva)
	Médio ou baixo	Alto ou média	Extremo	Alterável	Alterável-coexistente	Alterável-coexistente (orientação sustentável)
			Não Extremo	Alterável	Alterável-coexistente	Alterável-coexistente (orientação produtiva)
		Baixo	Extremo	Apoiada	Apoiada-coexistente	Apoiada-coexistente (orientação sustentável)
			Não Extremo	Apoiada	Apoiada-coexistente	Apoiada-coexistente (orientação produtiva)
Familiar	Alto	Alto ou média	Extremo	Estável	Estável-familiar	Estável-familiar (orientação sustentável)
			Não Extremo	Estável	Estável-familiar	Estável-familiar (orientação produtiva)
		Baixo	Extremo	Independente	Independente-familiar	Independente-familiar (orientação sustentável)
			Não Extremo	Independente	Independente-familiar	Independente-familiar (orientação produtiva)
	Médio ou baixo	Alto ou média	Extremo	Alterável	Alterável-familiar	Alterável-familiar (orientação sustentável)
			Não Extremo	Alterável	Alterável-familiar	Alterável-familiar (orientação produtiva)
		Baixo	Extremo	Apoiada	Apoiada-familiar	Apoiada-familiar (orientação sustentável)
			Não Extremo	Apoiada	Apoiada-familiar	Apoiada-familiar (orientação produtiva)

Fonte: Adaptado de Sparovek et al. (2014).

Salienta-se, ainda, o significado dos seguintes termos: (i) estável: combinações que resultam de elevado desenvolvimento municipal com alta ou média aptidão para agricultura não irrigada, ou seja, a sistemática agrícola presente, seja ela familiar ou não, promoveu o desenvolvimento rural adequado, (ii) independente: combinações que resultam de elevado desenvolvimento municipal com baixa aptidão para agricultura não irrigada, ou seja, o desenvolvimento rural ocorreu à parte da aptidão agrícola das terras, (iii) alterável: combinações que resultam de baixo ou médio desenvolvimento municipal com alta ou média aptidão para agricultura não irrigada, ou seja, o modelo agrícola existente, qualquer que seja, não promoveu o desenvolvimento rural adequado, apesar das boas condições do meio físico (aptidão agrícola para agricultura não irrigada), e (iv) apoiada: combinações que resultam de baixo ou médio desenvolvimento municipal com baixa aptidão para agricultura não irrigada, independente da tipologia de produção. Fomentar sistemas agrícolas tradicionais não é uma forma de desenvolvimento promissora, pela restrição imposta pelo meio físico.

Para a definição de prioridade para irrigação Sparovek et al. (2014) consideraram que as classes estável e independente apresentam menor prioridade de intervenção pública, por já apresentarem adequado desenvolvimento. As ações privadas, na sua combinação com expansão e reserva técnica, no entanto, são bem vindas, justificadas por benefícios coletivos decorrentes da ampliação da base de agricultura irrigada, mesmo que não sejam emergenciais do ponto de vista local.

A combinação de alterável com expansão merece destaque de intervenção pública. A área efetivamente irrigada numa bacia nunca será a sua área potencialmente agricultável total. A combinação de alterável com expansão associa a necessidade decorrente do baixo ou médio desenvolvimento municipal com a possibilidade de expandir uma base irrigada já existente, portanto, menos carente de investimentos em infraestrutura, serviços e Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER). Isto, além de tudo, poderá beneficiar indiretamente a produção de sequeiro, que poderá se desenvolver na parte da bacia que não será irrigada. A combinação de apoiada com expansão produz efeito semelhante, mas com benefícios menores para a agricultura de sequeiro. A **Tabela 3** apresenta os indicativos de maior ou menor interesse de intervenção pública ou privada das classes territoriais.

Tabela 3. Combinação da chave física com a chave de prioridade

Chave física	Chave Prioridade	Designação
Expansão	Alterável	Máximo interesse de intervenção pública
	Apoiada	Interesse elevado de intervenção pública
Reserva técnica	Alterável ou apoiada	Interesse compartilhado de intervenção pública e privada
Expansão ou Reserva técnica	Estável ou independente	Fomento de interesse privado
		Monitoramento e regulamentação
Manutenção e redirecionamento	Alterável ou apoiada	Intervenção pública específica & Monitoramento e regulamentação
Outra estratégia de desenvolvimento	Estável, independente, alterável ou apoiada	Monitoramento

Fonte: Adaptado de Sparovek et al. (2014).

A interação do gestor com o modelo de Sparovek et al (2014), traduzida na ferramenta analítica de consulta sobre irrigação, pode se dar a partir desta chave de classificação categórica que contempla as duas dimensões consideradas (física e prioridade), gerando classes que reportam diretamente para as estratégias de intervenção recomendadas, sua origem pública ou privada e prioridade. Outras combinações de classes, p.e. as classes de interesse ambiental da chave de prioridade ou a tipologia do produtor, podem ser geradas a partir da ferramenta analítica completa e contemplar recortes específicos. As classes sugeridas tiveram como critério sua abrangência em tratar o tema do desenvolvimento e da agricultura irrigada e não pretendem responder questões mais específicas. A **Tabela 4** apresenta, de forma sistemática, a interpretação das ações sugeridas para cada classe territorial.

Tabela 4. Classes sugeridas suas respectivas interpretações

Designação	Ação	Interpretação
Máximo interesse de intervenção pública	Expandir e promover a agricultura irrigada agora ou no futuro com prioridade de intervenção pública.	A tipologia agrícola presente apesar da boa condição do meio físico não desenvolveu o ambiente rural do município, existe irrigação na bacia e seu potencial de expansão é grande. A intervenção pública se justifica pelo interesse coletivo do desenvolvimento, pela ineficácia com que o atual modelo produtivo beneficiou o coletivo e pela facilidade de promover o desenvolvimento da agricultura irrigada como opção de longo prazo para a bacia, tanto para a área irrigada como não irrigada.
Interesse elevado de intervenção pública		Situação semelhante à anterior com exceção da menor possibilidade do desenvolvimento da irrigação favorecer a agricultura não irrigada pela baixa aptidão do meio físico.
Interesse compartilhado de intervenção pública e privada		Situação semelhante à primeira com exceção da pouca presença de agricultura irrigada na bacia, o que dificulta e encarece a implantação de sistemas irrigados.
Fomento de interesse privado	Expandir e promover a agricultura irrigada agora ou no futuro com prioridade de intervenção privada.	Situação semelhante à primeira, com exceção do desenvolvimento municipal já ser elevado o que não motiva prioridade na intervenção pública que deve ser compartilhada com maior compromisso de iniciativas privadas.
Monitoramento e regulamentação	Monitorar impactos e procurar outras alternativas	A área total irrigável já está sendo utilizada próximo de sua capacidade máxima. A expansão leva a riscos elevados de impactos ambientais ou uso concorrente da água. Considerando o já elevado desenvolvimento municipal, cabe o monitoramento da bacia e a busca por alternativas de desenvolvimento rural que não impliquem em irrigação adicional.
Intervenção pública específica e Monitoramento e regulamentação		Situação semelhante à anterior com exceção do menor desenvolvimento municipal. Considerando que há irrigação em grande quantidade na bacia, intervenções de expansão específicas e de pequena área que não levem a custos ambientais podem ser apoiados por iniciativas públicas ou privadas visando, em curto prazo, o desenvolvimento municipal. A busca por alternativas de desenvolvimento rural que não impliquem em irrigação adicional devem nortear as visões de médio e longo prazo.
Monitoramento	Procurar outras alternativas	O desenvolvimento da agricultura irrigada não é viável do ponto de vista físico. As estratégias de desenvolvimento para a bacia não devem considerar esta opção.

Fonte: Adaptado de Sparovek et al. (2014).

2.2.3. Área irrigável e área irrigada no Brasil

A **Figura 1** ilustra o resultado espacial e a **Tabela 5** apresenta os valores de área potencialmente irrigável e área irrigada para as classes de território resultantes da combinação da chave física com a de prioridade.

Figura 1. Análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil: designação de ação para classes territoriais

Fonte: Sparovek et al. (2014).

Tabela 5. Área irrigada, adicionalmente irrigável, e total irrigável para as classes de território resultantes da combinação da chave física com a chave de prioridade

CLASSE TERRITORIAL AGRICULTURA IRRIGADA / Classe territorial rural	Irrigada	Área (ha)		Total Irrigável	Fração Irrigada (% do total)	Distribuição
		Adicional Irrigável				
Máximo interesse de intervenção pública						Ampla distribuição, com menor ocorrência na região Norte e na parte central de região Centro-Oeste. Concentração no Norte de Minas Gerais, região central do Paraná e parte central do Rio Grande do Sul
ALTERÁVEL / Expansão	744.365	12.938.220		13.682.585	5,4	
Interesse elevado de intervenção pública						Acompanha a distribuição da classe anterior
APOIADA / Expansão	368.834	8.395.875		8.764.710	4,2	
Interesse compartilhado de intervenção pública e privada						Acompanha a distribuição da classe anterior
ALTERÁVEL / Reserva técnica	348	3.988.673		3.989.020	0,01	
APOIADA / Reserva técnica	322	1.952.257		1.952.579	0,02	
Soma/média Parcial	670	5.940.930		5.941.600	0,01	
Fomento de interesse privado						Predomina na parte central da região centro-Oeste, São Paulo, litoral Sul da Bahia, Espírito Santo, Norte do Paraná, metade Norte do Rio Grande do Sul
ESTÁVEL / Expansão	2.151.565	21.570.874		23.722.439	9,1	
INDEPENDENTE /Expansão	562.141	6.942.376		7.504.517	7,5	
ESTÁVEL / Reserva técnica	345	4.008.888		4.009.233	0,01	
INDEPENDENTE / Reserva técnica	223	1.535.041		1.535.265	0,01	
Soma/média Parcial	2.714.274	34.057.179		36.771.453	7,4	

CLASSE TERRITORIAL AGRICULTURA IRRIGADA / Classe territorial rural	Área (ha)		Total Irrigável	Fração Irrigada (% do total)	Distribuição
	Irrigada	Adicional Irrigável			
Monitoramento e regulamentação prioritária					Sertão e Agreste Nordestinos, proximidade com regiões metropolitanas
ESTÁVEL / Manutenção e Redirecionamento	767.218	4.322	771.541	99,4	
INDEPENDENTE / Manutenção e Redirecionamento	670.846	6.397	677.243	99,1	
Soma/média Parcial	1.438.064	10.719	1.448.783	99,3	
Intervenção pública específica & Monitoramento e regulamentação					Acompanha a distribuição da classe anterior
ALTERÁVEL / Manutenção e Redirecionamento	490.552	5.664	496.216	98,9	
APOIADA / Manutenção e Redirecionamento	279.781	9.101	288.882	96,8	
Soma/média Parcial	770.333	14.765	785.097	98,1	
Monitoramento					Maior parte da Região Norte, Pantanal, região Central de Goiás
ALTERÁVEL / Não prioritário	1.255	7.336.007	7.337.262	0,02	
APOIADA / Não prioritário	552	1.441.354	1.441.905	0,04	
ESTÁVEL / Não prioritário	1.058	4.012.747	4.013.806	0,03	
INDEPENDENTE / Não prioritário	434	1.036.599	1.037.032	0,04	
Soma/média Parcial	3.299	13.826.706	13.830.005	0,02	
Soma	6.039.839	75.184.395	81.224.233	7,4	

Fonte: Adaptado de Sparovek et al. (2014)

O total de área irrigável (irrigado mais adicional irrigável) estimada por Sparovek et al. (2014), sem que fossem impostas restrições maiores ao adicional irrigável como disponibilidade logística, aptidão agrícola, relevo (tomando como base apenas a metade da disponibilidade de água não utilizada nos rios e terras para receber esta água) foi de 81 Mha, dos quais 7,4% estavam já sendo irrigados à época da publicação do estudo.

A área adicional irrigável somava no total 75 Mha, dos quais 14 Mha (18%) se encontravam em situações em que não havia indicação de expansão da área agricultura irrigada, 34 Mha (45%) em que não se justificava intervenção pública de incentivos os subsídios, e 27 Mha (36%) em que havia maior interesse por intervenção pública motivado pelo interesse (21 Mha) ou pela oportunidade (6 Mha) de promover desenvolvimento rural.

Da área total irrigada de 6,0 Mha, uma parcela de 2,2 Mha (37%) se concentrava em áreas em que a expansão sobre área adicional irrigável não seria possível sem impactos ambientais ou competição por outros usos da água. Estas bacias irrigavam em média 99% de sua área total irrigável e eram representadas pelo entorno de regiões metropolitanas e boa parte do agreste e sertão nordestinos.

A combinação de estável com expansão apresentava os maiores estoques de área adicional irrigável (22 Mha) e área irrigada (2,2 Mha), um valor semelhante à soma da classe manutenção e redirecionamento. A combinação de estável com expansão representava situações em que a agricultura (principalmente a não familiar) se estabeleceu e em parte já era irrigada (9,1% da área total irrigável é irrigada), tendo promovido desenvolvimento rural e ocorrido em áreas em que a oferta hídrica nos rios ainda era grande, ou seja, de baixa densidade populacional e industrialização que promove usos concorrentes da água importantes. Sua expressão geográfica era abrangente, ocorrendo em muitas regiões, mas com menores ocorrências no Nordeste, norte de Minas Gerais e metade sul do Rio Grande do Sul.

2.2.4. Considerações sobre o possível aprimoramento da análise territorial para a agricultura irrigada

Tomando como referência o estudo desenvolvido por Sparovek et al. (2014), em 37% (2,2 Mha) da área irrigada não há possibilidade da expansão da irrigação principalmente pelo fato de não haver mais água disponível. Outros 44% (2,7 Mha da área irrigada) está em regiões em que há importante possibilidade de expansão (utilização média de 7,4% da área total irrigável), mas fora de áreas de prioridade de intervenção pública. As áreas em que há possibilidade de expansão e justificam intervenção pública importante representam 19% da área irrigada (1,1 Mha) e contém 36% da capacidade adicional de área irrigável (27 Mha).

De acordo com os autores, o estudo teve em sua execução um caráter intenso em termos de desenvolvimento metodológico, processamento de dados e consolidação de resultados, porém a

conclusão do estudo, segundo os autores, não deveria configurar o término de um processo analítico ou a consolidação de certezas, mas sim abrir espaço para um aprofundamento das questões colocadas, mediante a realização de estudos que possam validar e também complementar os conceitos e cálculos propostos. A agregação e ampliação de competências metodológicas às aqui apresentadas e investigações detalhadas de campo, a fim de captar a complexidade, são sequências consideradas desejadas e necessárias pelos autores, assim como a discussão aberta com a comunidade científica, técnica e operacional envolvida no tema da irrigação.

Ainda segundo os autores, análise territorial e modelagem espacial na rotina de formulação e gestão pública e sua interface com a governança privada constituem processos dinâmicos, que se beneficiam da discussão conjunta de cenários e incorporação de ajustes na forma de interpretação das variáveis.

2.3. Análise territorial da conectividade no meio rural visando a automação remota de sistemas de irrigação de pivô central

Entre os objetivos deste estudo está o desenvolvimento de um modelo espacial que estime para o território brasileiro a disponibilidade e qualidade da internet no meio rural em áreas ocupadas com sistema de irrigação do tipo pivô central, em especial considerando a internet banda larga via telefonia de tecnologia 4G, para que a automação do sistema possa ser gerenciada remotamente de forma mais ampla e econômica, sem a necessidade de se buscar outras vias como a comunicação via cabo ou rádio.

Para o alcance deste objetivo, é necessário explicitar alguns conceitos ligados à internet e temas que dela emergem, vinculados à agricultura, passando pelas formas de comunicação (conectividade) que podem ser estabelecidas com esta rede, bem como o desenvolvimento de automatização remota para sistemas irrigados, os quais são apresentados a seguir.

2.3.1. Agro 4.0

Recentemente vem ocorrendo um grande movimento do setor agrícola mais tecnificado pelo uso de IoT (Internet das Coisas, em inglês, *Internet of Things*) nas diversas fases do processo produtivo, de armazenamento e de comercialização. Nesse caminho surge a chamada “Agricultura 4.0”, que vem sendo alvo de pesquisas e desenvolvimento de *startups* do setor agrícola. A Agricultura 4.0 ou “Agro 4.0” é termo herdado da “Indústria 4.0”, inovação que teve início na indústria automobilística alemã e atualmente é empregada em diversos segmentos da indústria, que consiste na completa automatização dos processos produtivos (VDMA VERLAG, 2016 *apud* MASSHUÁ & LEITE, 2017).

A Agro 4.0 insere-se na chamada Internet das Coisas (IoT) e já é uma realidade, com máquinas, veículos, eletrodomésticos, *smartphones*, computadores, residências e outras estruturas físicas se conectando à internet para informar sua situação, receber instruções e agir conforme as informações recebidas, o que vem causando uma verdadeira revolução na interação do ser humano com o mundo físico e, portanto, na organização da sociedade contemporânea¹ (PARRONCHI, 2019).

Vista como caminho inevitável da agricultura, a Agro 4.0 viria com a promessa de uma grande mudança de paradigma da produção agrícola, uma vez que introduziria o elemento previsibilidade numa atividade que, diferentemente da indústria, sempre foi sujeita a intempéries climáticas e outros revezes como pragas e doenças, colocando-a historicamente em posição de desvantagem em relação a outras atividades econômicas no que diz respeito à formação de preços de produtos, formação de capital e alocação de fatores produtivos (PARRONCHI, 2019).

Na Agro 4.0, tecnologias como redes de sensores, comunicação máquina para máquina (M2M), conectividade entre dispositivos móveis, computação em nuvem, métodos e soluções analíticas para processar grandes volumes de dados (*bigdata*) e construção de sistemas de suporte à tomada de decisões em manejo das culturas, são empregadas com o objetivo de elevar os índices de produtividade, aumentar a eficiência do uso de insumos e defensivos agrícolas, reduzir custos com mão de obra e penosidade do trabalho, melhorar a segurança dos trabalhadores rurais, diminuir os impactos ao meio ambiente (MASSRUHÁ & LEITE, 2017), além de garantir maior qualidade no alimento que chega à mesa do consumidor.

Na era da Agro 4.0 a Tecnologia da Informação e da Comunicação (TIC) é a mola propulsora e integradora da inovação dentro e fora da cadeia produtiva, sendo utilizada em atividades como melhoramento genético e bioinformática, na pré-produção; na agricultura de precisão e funcionamento de equipamentos diversos, na produção; e nas melhorias na logística e transporte, na pós-produção.

A inserção do Brasil na era da Agro 4.0 tem sido foco de instituições de naturezas diversas. A Embrapa, por exemplo, vem desenvolvendo aplicativos para potencializar e fortalecer a Agro 4.0 com o intuito de integrar tecnologias, “produzindo conhecimento para que o Brasil continue a ser um protagonista da produção e exportação agropecuária” (MASSRUHÁ & LEITE, 2017). Universidades também têm se dedicado ao desenvolvimento de tecnologias de automação para a execução de atividades agrícolas, como semeadura, plantio e irrigação, enquanto empresas de máquinas e implementos agrícolas, de drones e sensores vêm oferecendo soluções para a automação no campo².

¹ Como padrão, considera-se Agricultura 1.0 aquela baseada em tração animal para preparo da lavoura; Agricultura 2.0 a que passa a utilizar maquinário agrícola com motor à combustão; Agricultura 3.0 a que se utiliza de sistemas guiados e agricultura de precisão, iniciada na década de 1980 na Europa e EUA, com o desenvolvimento de microcomputadores, sensores, *softwares*, Sistema de Posicionamento Global (GPS) e Sistema de Informações Geográficas (GIS); e Agricultura 4.0 aquela baseada em conteúdo digital, que pressupõe fazendas inteiramente conectadas, interatividade em tempo real, utilização de sensores e automação quase que completa na propriedade.

² <https://digital.agrishow.com.br/voce-esta-preparado-para-o-futuro-da-agricultura/>

2.3.2. Conectividade no meio rural

O acesso à conexão de internet banda larga abre diversas possibilidades relacionadas ao desenvolvimento do meio rural, tais como inclusão social, otimização de processos produtivos, educação e informação, qualidade de vida, entretenimento, segurança e bem-estar, resultando em maiores e melhores oportunidades para a população rural, tanto em termos econômicos quanto sociais.

O termo “conectividade” utilizado neste estudo diz respeito à capacidade (de um computador, programa, equipamento, etc.) de operar em ambiente de rede, conectando-se e trocando dados (em maior ou menor velocidade, eficiência, etc.) através da ligação com a internet. A aplicação deste conceito ao meio rural busca explorar o potencial que o acesso a um grande volume de informações externas à rede geradora, tais como informações sobre nível de pragas, ocorrência de doenças de plantas, dados de operação de máquinas e implementos, informações de estações climáticas e meteorológicas e uma infinidade de dados que podem hoje ser disponibilizados para os produtores rurais, os quais podem ser processados em conjunto, abrindo novas perspectivas para que as operações ligadas a sistemas irrigados do tipo pivô central possam ser potencializados e ganhem em eficácia e eficiência.

Quanto maior o volume de dados e informações a circularem na rede, maior deve ser a qualidade da conexão, isto é, maior deve ser a capacidade de transmissão e recepção de grandes volumes de dados com velocidade. Esse processo provocou o surgimento da internet banda larga.

De acordo com Silva & Biondi (2012) atualmente o termo “banda larga” (*broadband*) é mundialmente utilizado, sendo referência para a caracterização de um serviço de acesso à internet através de tecnologias avançadas, mas não há um conceito universalmente aceito em sua totalidade. A velocidade tem sido o elemento mais comum para definir se uma conexão pode ou não ser considerada “banda larga”, uma vez que representa o fator mais facilmente percebido pelo usuário, na sua experiência prática ao acessar e utilizar a rede para atividades diversas, como visualizar todos os itens (textos, tabelas, imagens etc.) de um *website*, enviar um *e-mail* ou baixar um arquivo *on-line*, expressando as limitações concretas de uso da rede em atividades do dia a dia.

A velocidade proporcionada pela conexão de banda larga se refere à capacidade de um serviço de conexão em enviar e receber os conteúdos digitais, numa dada unidade de tempo. A velocidade serve para caracterizar a banda larga ao usuário final, ainda que não haja um consenso sobre a velocidade mínima a ser considerada. Geralmente, as agências reguladoras, órgãos governamentais, organismos multilaterais e pesquisadores têm adotado valores acima de 200 kb/s, sendo 256 kbit/s (em pelo menos uma das direções) a linha de base mais comum comercializada como “banda larga” no mundo (Silva & Biondi, 2012). O Brasil ainda não tem uma regulamentação que indique qual é a velocidade mínima para uma conexão ser considerada de banda larga.

As formas de acesso à internet banda larga sem fio, de acordo com Silva & Biondi (2012) são:

- (i) Internet via rádio: tecnologia que usa ondas de radiofrequência para emitir o sinal aos computadores, por intermédio de antena, ou seja, sem necessidade de instalação de cabeamento ou fios. Como se tratam de ondas, o problema deste tipo de conexão são as interferências causadas por possíveis obstáculos físicos entre a torre de transmissão e a antena;
- (ii) Internet via satélite: os satélites geoestacionários podem fornecer sinal sobre grandes áreas geográficas de cobertura, o que torna a tecnologia extremamente promissora para conexões de usuários em áreas rurais ou remotas. A velocidade desse tipo de conexão é extremamente alta, porém, devido à enorme distância entre o emissor e o receptor, existe um atraso na comunicação, que torna inviável para a prática de atividades que envolvam respostas rápidas (como jogos *online* ou automação no campo, controle de máquinas agrícolas ou sistemas de irrigação em tempo real);
- (iii) Conexão 3G e 4G: conexões para dispositivos móveis que permitem acessar a internet. São gerações de tecnologia, onde a 3G (terceira geração) possibilitou a entrada das operadoras de celular na prestação de serviço de banda larga. Hoje, no Brasil a conexão 4G é sinônimo da tecnologia LTE (*Long Term Evolution*), que partilha da mesma natureza básica do 3G, porém traz um expressivo aumento da velocidade de transmissão de dados, por ser mais integrada aos sistemas baseados no protocolo IP. A rede de antenas ERB (Estação Rádio Base ligadas umas às outras por uma rede *backhaul*) oferece uma grande cobertura nas áreas urbanas e onde existe demanda de conexão, inclusive em áreas rurais, pois atende até vários quilômetros de distância. Atualmente também a nova geração de tecnologia em banda larga (5G) já é realidade em países como Coreia do Sul e Estados Unidos, porém no Brasil encontra-se em fase de testes.

Como apontado anteriormente, a disponibilidade de conexão via internet de banda larga pode potencializar inovações tecnológicas no meio rural (Agro 4.0), viabilizando, por exemplo, a automação de sistemas irrigados. Assim, a expansão da área de cobertura de banda larga e a escolha por uma tecnologia adequada é fundamental para a ampliação das possibilidades do uso de tais inovações. A tecnologia 4G foi selecionada como objeto de estudo neste trabalho, uma vez que: (i) tem a vantagem de atender grandes áreas geográficas e áreas remotas com um custo relativamente baixo; (ii) permite o acesso e a transmissão de um grande volume de dados de fontes diversas com alta velocidade, sendo possível integrar informações essenciais para a tomada de decisão no campo, em tempo real, viabilizando a automação de diversos sistemas, como os de irrigação por pivô central.

2.3.3. Modelos de simulação de alcance de intensidade do sinal de telefonia móvel 4G

A Fórmula de Friis é bastante utilizada em estudos de engenharia de telecomunicações e relaciona a potência transmitida de uma antena para outra em determinadas condições ideais. No

modelo de Friis (FRIIS, 1946), a potência recebida é função apenas da distância entre as antenas e a Fórmula a seguir fornece a relação matemática para o cálculo.

$$P_r = 10 \cdot \log \left(\frac{P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2}{10^{-3}} \right) [dBm]$$

Em que:

P_r é a potência recebida, em dBm

P_t é a potência transmitida, em W

G_t, G_r são os ganhos na transmissão e na recepção

λ é o comprimento de onda, calculado como a razão entre a velocidade da luz no vácuo sobre a frequência de transmissão, em m

d é a distância geográfica entre o receptor e o transmissor, em m

Uma evolução desta modelagem, como apontado por Parsons (2000), está o modelo ITM, o qual é acrônimo das palavras *Irregular Terrain Model* e sua formulação é conhecida também como Longley-Rice, que inclui uma interpretação mais realista da influência do terreno na transmissão e propagação de ondas. Desta forma, o modelo ITM produz um cálculo bastante detalhado, que incorpora tanto a teoria eletromagnética quanto análises estatísticas para levar em consideração a irregularidade do terreno, a refratividade da superfície e a influência do clima no trajeto dos raios entre antenas. A **Figura 2** apresenta algumas das quantidades consideradas no cálculo.

Figura 2. Decomposição de um trajeto hipotético entre transmissor e receptor pelo modelo ITM

Fonte: Adaptado de Parsons (2000).

Além da maior acurácia proposta, sua faixa de aplicação varia de 20 a 20.000 MHz, sendo mais segura para a utilização das frequências acima de 2.000 MHz. Cabe ressaltar que o modelo ITM é calculado de maneira idêntica para áreas urbanas e rurais.

2.3.4. Automação em sistemas de irrigação de pivô central

Os métodos mais eficientes no uso da água, irrigação localizada (gotejamento e microaspersão) e a aspersão por pivô central, deverão ser responsáveis por cerca de 75% do crescimento da irrigação no Brasil na próxima década. A liderança da expansão deverá continuar sendo mantida pelos pivôs no horizonte do ano de 2030, com participação em torno de 40% do total de 3,14 Mha que até 2030 serão incorporados (ANA e EMBRAPA, 2019).

O primeiro sistema irrigação por pivô central, inventado por Frank Zybach em meados de 1950 nos Estados Unidos, foi patenteado em 1952 e passou a ser utilizado em grande escala (TESTEZLAF, 2014). Segundo Testezlaf (2017), o pivô central é um tipo mecanizado de sistema de irrigação por aspersão, um dos mais conhecidos no Brasil. Nesse sistema, os aspersores ou sprays são implementados em estruturas metálicas que podem se mover ao longo da área a ser irrigada por meio do auxílio de um trator, ou de sistemas automatizados com movimentos linear ou circular, com a operação elétrica ou com a utilização da pressão existente na tubulação.

Apesar do considerável grau de tecnologia incorporado aos sistemas de pivô central, é importante ressaltar que em um cenário de limitações hídricas em algumas regiões ou até mesmo de energia elétrica, há a necessidade de discutir meios para um uso racional e mais proveitoso dos recursos existentes. De acordo com Nerys et al. (2007), um maior desperdício de energia elétrica e água pode ser gerado através de um crescimento desordenado ou até mesmo o emprego inapropriado do sistema de irrigação por pivô central, uma vez que esses sistemas fazem uso de motores de indução sem controle de velocidade; e com isso a contenção da vazão necessita da ação dos reguladores de pressão para que em cada ponto da região irrigada alcance o nível adequado de vazão.

Um desperdício de água e energia elétrica e ainda uma irrigação com carência no controle de umidade do solo podem ocorrer em decorrência a falta de controle de rotação do conjunto motor-bomba para que possa atender eficientemente cada situação de carga. Além disso, a determinação inadequada do momento exato da irrigação e da velocidade de deslocamento da linha lateral e baixa eficiência dos equipamentos instalados estão entre outros fatores de desperdício.

Tendo em vista as vantagens dos sistemas automatizados para a economia de energia e de água quando há necessidade de variação da vazão, a automação de controle de irrigação torna-se uma ferramenta essencial para a aplicação de água na quantidade necessária e no devido tempo, o que contribui para a otimização da produção e redução dos custos produtivos (MORAES et al., 2014; FERNANDES & TESTEZLAF, 2002).

Diversos trabalhos vem desenvolvendo estudos sobre a aplicação dos sistemas de irrigação baseados em sensores, em especial, com o desenvolvimento de tecnologias sem fio (OKSANEN et al.,

2004; ZHANG, 2004; DURSON & OZDEN, 2011; MEDEIROS, 2018). Um sistema de controle de irrigação sem fio baseado em sensor é uma solução potencial para otimizar o rendimento e maximizar a eficiência do uso da água em regiões com variação na disponibilidade de água, seja devido a diferentes características do solo ou necessidades de água da lavoura. Com a adoção de uma rede de sensores é possível realizar o monitoramento em tempo real da quantidade de água presente no solo, determinando onde, quando e quanto irrigar, o que leva ao uso mais eficiente de recursos e reduz a necessidade de mão-de-obra para efetuar a irrigação (DURSON & OZDEN, 2011).

De acordo com Medeiros (2018), primeiramente é necessário conhecer os métodos utilizados para determinar a umidade do solo antes de definir qual sensor utilizar. Os métodos são geralmente classificados em:

- (i) diretos: em que uma amostra do solo é utilizada para quantificar a água nele presente; essa quantificação pode ser feita por meio da extração e determinação do volume de água contido na amostra (umidade volumétrica) ou pela umidade gravimétrica, que utiliza pesagens e relaciona a massa da água com a massa dos sólidos da amostra (ALTOÉ, 2012 *apud* MEDEIROS, 2018);
- (ii) indiretos: em que a determinação da umidade é feita utilizando as propriedades físicas do solo tais como a capacitância, pressão, resistência elétrica, etc. Tais métodos possuem maior vantagem na construção de sensores de umidade, uma vez que não é necessário extrair amostras de terra para a análise e o sensor pode ser diretamente conectado ao solo da cultura. Entre os modelos mais utilizados estão: condutividade térmica, tensiômetro, irrigás e blocos de resistência elétrica (MADALOSSO, 2014 *apud* MEDEIROS, 2018).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), vem desenvolvendo um Sistema denominado “Saci”, o qual se propõe a usar um sensor cerâmico de tensão de umidade do solo associado a componentes eletrônicos de automação sem fio, fonte de energia solar, rede elétrica ou bateria, de modo que a transmissão de dados poderá ser realizada por radiofrequência ou celular. Deste modo, o Saci tem por objetivo detectar uma faixa mais extensa de tensão crítica, ou seja, do limiar de umidade do solo a partir do qual há necessidade de irrigação, e apresentar leituras mais concisas, dado que não sofre influência de salinidade do solo nem de temperatura. Com isso, o sistema deve facilitar a irrigação automatizada ao não necessitar de calibrações e possibilitar como maior facilidade o armazenamento de dados sobre sistemas irrigados (EMBRAPA, 2018).

No setor agropecuário brasileiro diversas iniciativas, em especial das universidades, têm se dedicado ao desenvolvimento de tecnologias de automação para a execução de atividades agrícolas, como semeadura, plantio e irrigação, enquanto empresas de máquinas e implementos agrícolas, de drones e sensores, vêm oferecendo soluções para a automação no campo.

A visão de que essa mudança de paradigma na produção agrícola e, conseqüentemente, no meio rural, é real, é compartilhada com grande entusiasmo pelas empresas de inovação tecnológica,

que enxergam clara oportunidade de negócios, concentrados especialmente na fatia de grandes produtores rurais, principalmente voltados à produção de *commodities*, onde o ganho em escala de produção justifica, de forma mais evidente, a automação dos processos de produção, sendo um público mais ávido pela introdução de soluções tecnológicas desta natureza e pouco resistente a mudanças.

No que tange aos sistemas irrigados, a literatura aponta ganhos provenientes do uso da automação. Com o objetivo de reduzir o uso de água e energia em sistemas de irrigação por pivô central, Ribeiro et al. (2008) desenvolveram um protótipo de pivô central em escala reduzida com sistema de bombeamento acoplado ao inversor de frequência acionado manualmente e observaram que uma economia de energia elétrica da ordem de 26 % para inclinação máxima de 20% da linha lateral do pivô central pode ser alcançada. Nesta mesma perspectiva, ao testar dois distintos protocolos, Sudha et al. (2011) também observaram uma significativa redução no consumo de energia por um sistema de irrigação através do uso de comunicação sem fio, via *wireless*.

Além disso, em Moraes et al. (2014), utilizando um protótipo de pivô central construído em laboratório, verificaram uma redução dos gastos com energia elétrica entre 18% e 52% após a automação do sistema de irrigação, devido à melhoria do controle de velocidade do pivô frente a mudanças de pressão da água.

Neste sentido, no que se refere às oportunidades econômicas, a conectividade rural permite perceber o potencial da internet como ferramenta para gerar avanços de sistemas irrigados, especialmente sobre o uso de pivô central em regiões com maior potencial para expansão destes sistemas.

2.4. Análise territorial e políticas públicas

No Brasil a principal ação prática no sentido de reorganização do espaço econômico regional e sua integração nacional foi viabilizada ainda no governo de Juscelino Kubitschek, em 1959, com a criação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE (SILVA, 2011), quando já se pensava no território como uma unidade para o desenvolvimento de políticas públicas.

O reconhecimento do território como um instrumento central para a orientação de uma ação pública coordenada é uma postura inovadora na condução das políticas públicas contemporâneas, capaz de auxiliar a solucionar entraves históricos ao desenvolvimento nacional (MENDES, 2008 apud SILVA, 2011).

A questão do estabelecimento de escalas regionais apropriadas na elaboração de políticas públicas é essencial para maiores e melhores resultados. Nesse sentido é fundamental a construção de escalas espaciais analíticas e políticas adequadas a cada problema concreto a ser diagnosticado e enfrentado (BRANDÃO, 2007).

O conceito de território começou a ganhar espaço no meio acadêmico e político-institucional para fins de definição da agenda governamental, fato que acarretou no surgimento de diversos programas que se reportam ao território para justificar a adoção de um novo programa ou uma metodologia de intervenção. Esta nova estratégia de ação pública passou a ser denominada abordagem territorial do desenvolvimento (SILVA, 2011).

A gestão pública no Brasil vem passando por um processo intenso de “complexificação” técnica nos últimos anos, com a incorporação de novos métodos e ferramentas para elaboração de diagnósticos, para a identificação espacial das áreas de intervenção, para o monitoramento dos programas e para a tomada de decisão de modo geral (JANUZZI et al., 2009).

A implantação de uma política pública geralmente é complexa e envolve a análise de uma grande quantidade de informações de diferentes áreas. A tomada de decisão sem a consideração e integração adequada destes fatores leva a políticas mal formuladas que não otimizam a agregação de valor para a sociedade (PEREIRA, 2009 *apud* FERRAZ et al, 2015).

Esse conceito de análise do territorial associada a uma política pública, utilizando modelagens complexas e resultados simplificados para servir de ferramenta de tomada de decisão para aos gestores públicos, foi amplamente trabalhado por Sparovek et al. (2013), com o estudo “Análise territorial e políticas para o desenvolvimento agrário”. Esse trabalho buscou construir um modelo espacialmente explícito de conversão de variáveis sintéticas complexas individualmente, a partir de uma macroestrutura de organização, baseada na sua dimensão espacial explícita, tendo a territorialidade como elemento comum a todas essas dimensões, possibilitando seu tratamento conjunto. Nesse estudo foi construída a simplificação de cada variável para que os detalhes não comprometessem a visão de conjunto, tomando cuidados para que tal simplificação não fizesse com que sua composição ficasse distante da situação fática verificável, ou seja, para que a variável não perdesse a vinculação com a realidade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho visou aperfeiçoar e desenvolver novos métodos e abordagens para análise e geração de informação territorial suficientemente robusta e de abrangência nacional em relação à qualidade do espaço rural para desenvolvimento e expansão da agricultura irrigada, através da construção e integração de variáveis.

O trabalho desenvolvido tem três frentes: (i) aperfeiçoamento de variáveis utilizadas na metodologia de análise territorial para a expansão da agricultura irrigada, desenvolvido por Sparovek et al. (2014); (ii) desenvolvimento de modelo de análise territorial visando a cobertura de banda larga (tecnologia 4G) para de áreas agrícolas irrigadas com tipo pivô central, com vistas à automação remota do sistema; e (iii) interação dos modelos de análise territorial para a expansão da agricultura irrigada e análise territorial visando a cobertura de banda larga (tecnologia 4G) para aplicação direcionada em políticas públicas.

3.1. Aperfeiçoamento de variáveis da metodologia de análise territorial para a expansão da agricultura irrigada

3.1.1. Necessidade de irrigação da cultura (INlc)

A primeira variável trabalhada no aprimoramento do modelo de Sparovek et al. (2014) foi a INlc, que representa uma macro-geografia da necessidade de irrigação de culturas de forma ampla, através de uma categorização do território em regiões em que a irrigação é (i) necessária, (ii) eventual e (iii) não dispensável. A variável INlc foi estudada para que o processamento fosse realizado a partir de mais culturas, fazendo com que as informações geradas fossem mais robustas. Além das culturas do milho e feijão trabalhadas inicialmente por Sparovek et al. (2014), foram incorporadas mais três culturas (arroz, cana-de-açúcar e soja), formando o conjunto das cinco principais culturas agrícolas do país por sua importância socioeconômica e ocupação de terras no Brasil.

Inicialmente buscou-se definir, por município, os principais meses de semeadura das cinco culturas mencionadas. A escolha dos principais meses de semeadura foi realizada com base nos dados do Censo Agropecuário de 2006, obtidos no Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), tabela 825 - Produção, Venda, Valor da produção e Área colhida da lavoura temporária por produtos da lavoura temporária, uso de irrigação, uso de agroquímicos, uso de adubação e principal mês de plantio e de colheita. Os dados obtidos em forma de tabelas foram processados e separados em “irrigadas” ou “sequeiro”, para o recorte geográfico de municípios do Brasil.

O principal mês de semeadura para cada cultura, diferenciadas em irrigadas e sequeiro, foi definido como sendo o mês em que houve maior ocorrência de números de estabelecimentos plantando determinada cultura para cada município. As tabelas contendo os principais meses de

semeadura foram unidas em um sistema de informação geográfica (SIG) à malha geográfica municipal do Brasil para sua apresentação de resultados na forma de mapas.

3.1.1.1. Transposição dos principais meses de semeadura para a malha climática do Brasil

Com a finalidade de reduzir o efeito dos limites político-administrativos nos mapas resultantes, optou-se por utilizar a malha climática com a classificação Köppen-Geiger para o Brasil, como máscara representativa dos principais meses de plantio, conforme pode ser observado na **Figura 3**.

Figura 3. Malha climática com a classificação Köppen-Geiger para o Brasil.

Esse procedimento foi realizado em ambiente SIG, transformando a malha municipal contendo as informações de principais meses de semeadura do formato vetorial (shapefile) para o formato matricial (raster). Na sequência a malha climática foi transformada do arquivo matricial (raster) para o formato vetorial (shapefile).

Essas transformações são necessárias para o processo de extração da moda dos valores de principal mês de semeadura para a camada climática, resultando em uma representação dos principais

meses de semeadura baseada nos limites climáticos. Esse procedimento foi realizado para as cinco culturas estudadas.

3.1.1.2. Junção dos principais meses de semeadura para as Ottobacias

Nesse estudo, assim como no desenvolvido por Sparovek et al. (2014), adotou-se como unidade básica de processamento dos resultados a base de dados de ottobacias nível 12 da Agência Nacional de Águas (ANA) que recobrem toda a área nacional³(ANA, 2012).

O procedimento de junção dos principais meses de semeadura para a base de dados de ottobacias foi realizado transformando os polígonos das ottobacias em pontos (centroides) que receberam os valores de principal mês de plantio a partir da malha climática de acordo com a intersecção espacial entre as duas camadas de dados.

3.1.1.3. Obtenção do Índice de Necessidade de Irrigação (INic) para as culturas

Para as culturas graníferas (milho, feijão, arroz e soja) selecionadas, independentemente, estimou-se o INic, o qual é dado pela média geométrica de três sub-índices referentes a três fases de desenvolvimento: (a) implantação da cultura, (b) florescimento e (c) enchimento de grãos. A fase de maturação foi também simulada para as culturas analisadas, mas apenas as três primeiras fases foram consideradas para efeito de cálculo do INic, conforme realizado em Sparovek et al. (2014).

A primeira fase, que vai do momento da semeadura até o estágio fenológico correspondente ao estabelecimento, é afetada pela disponibilidade de água e define da população final da lavoura. A população final, por sua vez, é um fator de produção decisivo dependente diretamente do homem, porém associado ao genótipo e aos fatores abióticos como temperatura do ar, radiação solar, fotoperíodo, disponibilidade de água e de dióxido de carbono e genótipo. Na segunda fase, a disponibilidade de água durante florescimento das culturas afeta a definição do número de grãos por planta (número de grãos por espiga e prolificidade, no caso da planta média de milho e arroz); e número de vagens por planta e número de grãos por vagem no caso da planta média de feijão e soja). Esse é o período que ocorre a coincidência da máxima demanda por água (em termos de transpiração ou evapotranspiração) e máxima sensibilidade à deficiência hídrica. A máxima demanda ocorre devido ao maior índice de área foliar. A máxima sensibilidade à deficiência ocorre devido à inversão da partição de carbono no período logo após o florescimento, onde há a mudança dos drenos fisiológicos: órgãos vegetativos (raiz, folha e caule/haste) por órgãos reprodutivos (no caso dos genótipos de hábito

³ De acordo com a Agência Nacional de Águas, ottobacias são áreas de contribuição dos trechos da rede hidrográfica codificadas segundo o método de Otto Pfafstetter para classificação de bacias. As bacias hidrográficas correspondem à agregação das áreas de contribuição hidrográfica, conhecidas como ottobacias, no nível 1 (http://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/e4f86bece83c44e28501924a19c5a586_0). No caso do presente trabalho, as ottobacias utilizadas (nível 6) são de maior dimensão do que as de nível um. Download do mapa em shapefile em: http://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/e4f86bece83c44e28501924a19c5a586_0/data

de crescimento determinado). Na terceira fase, a disponibilidade de água durante o período de enchimento de grãos das culturas define a massa de grãos, com acréscimo do teor de substâncias de reserva e decréscimo do teor de água.

Para a cana-de-açúcar se dividiu o ciclo em quatro fases principais: (a) emergência, (b) perfilhamento, (c) rápido crescimento, e (d) maturação; entretanto também foram consideradas apenas as três primeiras fases para o cálculo do INIc. A primeira fase, que vai do momento do plantio/corte até a emergência/rebrota da cultura, é afetada pela disponibilidade de água, na medida em que a germinação da cultura é afetada pela temperatura do solo. Apesar a relativa tolerância da cultura ao déficit hídrico, é necessário que haja um nível mínimo de umidade para evitar a morte da soqueira. As fases de perfilhamento e rápido crescimento são bastante dependentes da umidade do solo, uma vez que nessas fases define-se também a população final e a biomassa produzida pela cultura.

O índice de satisfação da necessidade de água foi concebido considerando a importância da água na composição da matéria, diretamente (fonte de hidrogênio e oxigênio) ou indiretamente (fonte de carbono e oxigênio devido à fotossíntese). Aproximadamente 96% da massa de matéria seca é constituída por carbono (45%), oxigênio (45%) e hidrogênio (6%) e, portanto, 4% de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, Ni e outros átomos não essenciais (Si, Na e Co, principalmente); ou, cerca de 99,2% da massa de matéria fresca é constituída por carbono, oxigênio e hidrogênio quando a planta se encontra com 80% de água. Sendo assim, a evapotranspiração real (ETr) está fortemente relacionada à produtividade, porque todos os processos que afetam a fotossíntese também afetam a transpiração. Para o cálculo da evapotranspiração real, armazenamento de água no solo, deficiência e excedente hídrico, foi realizado o balanço hídrico segundo metodologia proposta por THORNTHWAITE & MATHER (1955), utilizando o critério de MENDONÇA (1958) para iniciar o balanço hídrico.

Para o cálculo do Índice de Necessidade de Irrigação da cultura c (INIc), tem-se:

$$INI_c = \sqrt[3]{\prod_{f=1}^3 ISNA_{f,c}}$$

Portanto, quanto menor o valor de INIc, mais restritiva seriam as condições climáticas para cultivo de sequeiro, seguindo o princípio de valores mais baixos condizendo com situações de menor “qualidade”. Para o cálculo do Índice de Satisfação da Necessidade de Água (ISNA) durante a fases de 1 a 3 da cultura indicadora c (**Tabela 6**) e para cada fase fenológica considerada, sendo primeira fase (f = 1), da segunda fase (f = 2) e da terceira fase (f = 3) tem-se:

$$INI_{f,c} = \sqrt[3]{ISNA_{1,c} \cdot ISNA_{2,c} \cdot ISNA_{3,c}}$$

$$ISNA_{f,c} = \frac{ETr_{f,c}}{ETC_{f,c}}$$

em que $ET_{rf,c}$ é a evapotranspiração real do cultivo c na fase f (mm/fase) e $ET_{cf,c}$ é a evapotranspiração máxima do cultivo c na fase f .

Deste modo, assume-se que a produtividade é consequência do acúmulo de matéria (seja fresca ou seca) que, por sua vez, é quantitativamente relacionado à absorção de água e assimilação de dióxido de carbono pelo processo da fotossíntese. Sendo assim, a evapotranspiração real (ET_r) está fortemente relacionada à produtividade, porque todos os processos que afetam a fotossíntese também afetam a transpiração. Sendo assim, para a cultura de feijão, por exemplo (planta C3 e, portanto, menos eficiente no uso de água em ambientes tropicais, devido à fotorrespiração), verificou-se empiricamente que quando a relação ET_r/ET_c é inferior a um valor crítico ($ET_r/ET_{c\text{crítica}}$, assumindo como 0,7 para o feijão, por exemplo), a produtividade decresce abruptamente. Sendo assim, adotou-se esse valor (0,7) como limite superior da classe de alta necessidade de irrigação para a cultura de feijão. Para subdivisão em 3 classes, adotou-se o ponto mediano (0,85 aproximado para 0,9) como limite superior da classe de média necessidade de irrigação para a cultura de feijão e 1,0 como limite superior da classe de baixa necessidade de irrigação para a cultura de feijão. Para as demais culturas procedeu-se do mesmo modo e os valores de $ET_r/ET_{c\text{crítica}}$, obtidos junto a FAO – (FAOSTAT, 2001 ; 2000), estão apresentados na **Tabela 6**.

Tabela 6. Valores de $ET_r/ET_{c\text{crítica}}$ para as culturas selecionadas

Cultura	$ET_r/ET_{c\text{crítica}}$
Milho	0,6
Feijão	0,7
Arroz	0,8
Soja	0,65
Cana-de-açúcar	0,6

Fonte : FAO – FAOSTAT (2001 e 2000)

O procedimento analítico para processamento do balanço hídrico climatológico e definição da necessidade de irrigação foi implementado em software desenvolvido especificamente (AIBHCC v2.0) em linguagem Fortran 2003. As informações geradas foram usadas para os cálculos da área irrigável.

3.1.2. Área Irrigável (AI)

A estimativa de Área Irrigável é feita com base em informações da ANA sobre disponibilidade hídrica superficial e uso consuntivo da água (ANA, 2013⁴), combinadas a uma estimativa de demanda hídrica por unidade de área de cultura irrigada para as cinco culturas desse estudo. É importante ressaltar que esse cálculo não leva em consideração a qualidade das terras nem a qualidade de infraestrutura, portanto, deve ser interpretado como um potencial teórico máximo que poderia ser implantado no Brasil em condições ideais de solo e infraestrutura.

A metodologia para a definição da variável Área Irrigável (AI) foi baseada na estimativa do potencial relativo de suporte de agricultura irrigada por microbacia hidrográfica. No caso desse estudo, adotou-se as Ottobacias nível 12 da ANA, que recobrem toda a área nacional. Para isso foi adotado o cálculo da vazão unitária ou vazão de projeto (Qu_c , $m^3 \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$) por unidade de área (1 ha) da cultura c .

A vazão unitária ($m^3 \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$) se refere à vazão requerida, em $m^3 \cdot s^{-1}$, por unidade de área (ha), calculada pela relação entre a vazão de projeto e a área irrigável, a qual pode ser estimada pela relação entre a evapotranspiração potencial da cultura (máxima evapotranspiração potencial da cultura, na escala diária, durante o ciclo da cultura, que normalmente ocorre no período de florescimento) e o tempo de irrigação. Para o cálculo da vazão unitária ou vazão de projeto (Qu_c , $m^3 \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$) por unidade de área (1 ha) da cultura c , tem-se que:

$$\frac{m^3}{s \cdot ha} = \frac{\frac{mm}{d} \cdot 1d \cdot \frac{1L}{m^2 \cdot mm} \cdot \frac{10^4 m^2}{ha} \cdot \frac{m^3}{10^3 L}}{\frac{h}{d} \cdot \frac{3600s}{h}}$$

Em que ET_o se refere à evapotranspiração de referência ($mm \cdot d^{-1}$), Kc_c ao coeficiente da cultura c e t ao tempo de irrigação ($h \cdot d^{-1}$). Utilizou-se o critério de se adotar o tempo de irrigação de 20 horas (desconsiderando 3 horas de pico por dia mais uma hora de segurança), assim como no estudo de Sparovek et al. (2014), para calcular a potência requerida mínima devido à adoção do sistema de irrigação. Sendo assim:

$$Qu_c = \frac{ET_o \cdot Kc_c}{360 \cdot t}$$

Para o cálculo da área irrigável (ha) na região R, utilizando a cultura indicadora c , tem-se que:

$$Ai_c = \frac{Qd}{Qu_c}$$

Em que Qd se refere à vazão disponível ($m^3 \cdot s^{-1}$). Entende-se por vazão disponível à fração da vazão mínima de referência (seja $Q_{7,10}$; Q_{90} ou Q_{95}). No caso da ANA, outorga-se 70% da Q_{95} e como informação inicial de cálculo da disponibilidade hídrica superficial (Qd) foi utilizada a vazão incremental de estiagem (vazão com permanência de 95%), para os trechos não regularizados, somada

⁴Acesso: http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorioConjuntura/projeto/index.html

à vazão regularizada pelo sistema de reservatórios com 100% de garantia. Em rios sem regularização, portanto, a disponibilidade é considerada como apenas a vazão de estiagem com permanência de 95%. Esta foi calculada a partir das séries de vazões naturais (regiões Tocantins/Araguaia, São Francisco, Paraná) e das estações fluviométricas existentes (demais regiões) (ANA, 2007). Como medida conservadora, considerando que o uso dessas informações na formulação de políticas públicas devem ser assertivas e minimizar riscos, adotou-se para efeito dos cálculos, assim como adotado por Sparovek et al. (2014), 50% da vazão disponível (Q_d).

$$Q_d = [(Q_{95} \times f_{Q95}) - Q_{demanda}] \times f_u$$

Em que:

- Q_{95} = vazão (de estiagem) com permanência de 95% (ANA, 2013);
- f_{Q95} = fração de utilização da Q_{95} , assumido como 0,7;
- $Q_{demanda}$ = Demanda hídrica total por ottobacia (ANA, 2013); e,
- $f_u = \frac{0,5}{f_{Q95}}$

O cálculo de vazão disponível (Q_d) pressupõe que será utilizado para irrigação no máximo 50% da Q_{95} , o que acontece quando $Q_{demanda}$ é igual a zero.

Para o cálculo da vazão necessária (Q_c , $m^3.s^{-1}$) na região R, utilizando a cultura indicadora c, tem-se que:

$$Q_c = Q_{u_c} \cdot \frac{f \cdot A}{10000}$$

Q_c é usada para calcular a vazão ($m^3.s^{-1}$) necessária para irrigar a área A (ha).

Em que:

- A se refere à área (m^2) da região R; e,
- f à fração da área disponível à irrigação, calculado por geoprocessamento integrado das informações de uso da terra e legislação ambiental e descontada a área já irrigada segundo dados da Agência Nacional de Águas para o ano de 2012.

A fração (f) da área irrigável se refere a uma estimativa de área disponível na microbacia para implantação de atividades agropecuárias. Nessa estimativa são excluídas as áreas protegidas públicas (Unidades de Conservação, Terras Indígenas) ou privadas (áreas ripárias de preservação permanente, - o processamento de APP ripária disponível utilizou a rede hidrográfica ao milionésimo e na escala 1:250.000 quando disponível -, Reserva Legal com vegetação natural), além das áreas de uso urbano e

áreas ocupadas por espelhos d'água. Como última operação subtraiu-se também a área já ocupada com agricultura irrigada segundo estimativa da ANA para o ano de 2012⁵. Nesse caso foram mantidas as mesmas bases de dados utilizadas por Sparovek et al. (2014) para que os resultados fossem comparáveis.

Pensando em gerar uma ferramenta para auxiliar a tomada de decisão dos gestores públicos foram processados dois cenários a partir da informação gerada, um mais restritivo e outro menos restritivo, proporcionando ao final uma banda de área mínima e máxima de área irrigável (AI), podendo ser considerado um avanço em relação ao primeiro estudo desenvolvido por Sparovek et al. (2014).

O procedimento analítico para o processamento da definição da necessidade de irrigação envolvendo a combinação de 5 culturas x 2 sistemas x 4 principais datas de semeadura (40 cenários) para cada unidade de análise (ottobacia) foi implementado em software desenvolvido especificamente (AIBHCC v2.0) em linguagem Fortran 2003 e ajustado para gerar os dois cenários desejados (o maior e menor AI).

O cenário mais restritivo assumiu o resultado de menor AI dentre todos os casos simulados para cada ottobacia e o cenário menos restritivo assumiu o resultado de maior AI. Dessa forma, em ambos as situações, o resultado final obtido é um mosaico de culturas, sistemas e datas de semeadura para todo o Brasil. É importante ressaltar que o objetivo é alcançar uma estimativa teórica de potencial irrigável máximo e mínimo e não fazer qualquer procedimento de alocação de culturas e sistemas de irrigação, que, nesse caso, dependeria de metodologia específica que simula a dinâmica de uso da terra considerando fatores ambientais e socioeconômicos.

O conhecimento de um intervalo entre o potencial máximo e mínimo de expansão da agricultura irrigada, embora teórico e não dispondo de procedimento alocativo, é demanda prática para decisão estratégica visando orientar, dentre outras ações, o planejamento e a implementação da Política Nacional de Irrigação (PNI), em consonância com os Planos de Recursos Hídricos (PRH), como previsto na Lei Federal nº 12.787 de 11 de janeiro de 2013⁶, segundo a qual os planos nacional e estaduais de irrigação, em consonância com os Planos de Recursos Hídricos, devem abranger (Art. 6º):

“I - diagnóstico das áreas com aptidão para agricultura irrigada, em especial quanto à capacidade de uso dos solos e à disponibilidade de recursos hídricos;

II - hierarquização de regiões ou bacias hidrográficas prioritárias para a implantação de projetos públicos de agricultura irrigada, com base no potencial produtivo, em indicadores socioeconômicos e no risco climático para a agricultura;

⁵ Acesso: http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorioConjuntura/projeto/index.html

⁶ <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2013/lei-12787-11-janeiro-2013-775063-normaatuizada-pl.html>

III - levantamento da infraestrutura de suporte à agricultura irrigada, em especial quanto à disponibilidade de energia elétrica, sistema de escoamento e transportes;

IV - indicação das culturas e dos sistemas de produção, dos métodos de irrigação e drenagem a serem empregados e dos arranjos produtivos recomendados para cada região ou bacia hidrográfica.”

Nesse sentido, as bases de dados construídas e o procedimento aqui desenvolvido permitem atender os três primeiros pontos acima listados para planejamento geral estratégico dos planos de irrigação que, em etapas posteriores, devem passar por detalhamentos locais baseado em pesquisa de campo e metodologias adaptadas para implementação do plano geral na escala local (quarto ponto).

3.2. Análise territorial visando a cobertura de banda larga (tecnologia 4G) para aplicação nas áreas com sistema de irrigação do tipo pivô central com vistas à automação

O modelo espacialmente explícito desenvolvido buscou estimar para todo o território nacional a disponibilidade e qualidade da internet em áreas ocupadas com sistema de irrigação do tipo pivô central. Neste caso específico foi avaliada a disponibilidade de internet em banda larga via telefonia (tecnologia 4G), para que a automação do sistema possa ser gerenciada remotamente de forma mais ampla e econômica, sem a necessidade de se buscar outras vias de conexão, como a comunicação via rádio.

Para a geração da informação de existência de sinal de internet via telefonia buscou-se aplicar modelos que retornam uma superfície (*raster*) da intensidade do sinal por meio da aplicação de modelos que recebem como entrada a localização das torres e parâmetros associados. Como estratégia de desenvolvimento do estudo, para garantir que houvesse pelo menos um conjunto de dados disponíveis, foram aplicados dois modelos, um mais simplificado e outro mais complexo, tanto do ponto de vista teórico quanto de necessidade computacional. Uma comparação dos resultados é apresentada, visando ilustrar as diferenças entre os modelos em relação à superfície da intensidade do sinal calculada.

O primeiro modelo é mais simplificado, mas é muito utilizado em abordagens iniciais de estudos de engenharia de telecomunicações. Denominado de Fórmula de Friis, o modelo desconsidera muitos fatores que podem afetar a intensidade do sinal (p.ex. obstáculos do terreno).

O segundo modelo aplicado foi o *Longley-Rice*, também conhecido como Modelo de Terreno Irregular (ITM), que é mais complexo e capaz de identificar obstáculos na transmissão. Esse modelo requer um elevado poder computacional e para realizar seu processamento, a rotina foi implementada dentro do cluster Euler⁷. Como destacado por SILVA & CATELLI (2019), a partir dos

⁷ Pesquisa desenvolvida com utilização dos recursos computacionais do Centro de Ciências Matemáticas Aplicadas à Indústria (CeMEAI), financiados pela FAPESP (proc. 2013/07375-0).

anos 80 se identifica uma nova abordagem de modelo na ciência ligada ao uso dos computadores nas simulações complexas, onde nesses novos métodos de modelagem ou modelização um sistema parece deixar de ser considerado como conjunto de elementos em interação para passar a ser visto como um conjunto complexo de elementos em interação, um “sistema complexo”.

complexo de elementos em interação, um “sistema complexo”.

Dentre os dois modelos trabalhados, o mais complexo (*Longley-Rice*) foi selecionado para continuidade do estudo. As superfícies de intensidade de sinal geradas no seu processamento foram cruzadas com os 23.171 perímetros dos pivôs centrais existentes no banco de dados da Embrapa e disponibilizados por meio do sistema GeoNetwork da Agência Nacional de Águas (ANA, 2019)⁸.

3.2.1. Dados de entrada do modelo: localização das torres e parâmetros associados

Para os dois modelos de disponibilidade e qualidade de internet (tecnologia 4G), o cálculo da intensidade do sinal em qualquer ponto do país utilizou como dado de entrada a localização espacial das antenas (latitude e longitude), em conjunto com suas respectivas informações: a frequência e a potência transmitida. As informações da localização espacial das antenas, bem como de frequência e potência transmitida, foram acessadas a partir do sítio eletrônico oficial de Licenciamento da Agência Nacional de Telecomunicações - ANATEL (ANATEL, 2018)⁹.

A base de dados obtida possui 81.282 estações registradas e espalhadas em todo o território nacional (**Tabela 7**), conforme pode ser visualizado na **Figura 4**. Cada ponto vermelho transparente representa uma estação. O vermelho mais intenso representa maior concentração de antenas próximas.

Tabela 7. Dados da distribuição de antenas no Brasil

Região	Número de antenas
Norte	4.949
Nordeste	15.884
Sudeste	40.517
Sul	13.362
Centro-Oeste	6.570

Fonte: ANATEL (2018).

⁸ Disponível em: <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadata.show?id=328&currTab>. Acesso 01/08/2019.

⁹ Disponível em: <https://sistemas.anatel.gov.br/se/public/view/b/licenciamento.php>. Acesso 22/10/2018.

Figura 4. Distribuição espacial das 81.282 estações do Brasil.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da Anatel (2018)

Esses dados foram processados para classificar as antenas quanto à tecnologia disponível de telefonia móvel (2G, 3G e 4G) a partir das faixas de frequência de operação, de acordo com a lista da **Tabela 8**. A frequência permite tanto atribuir para cada estação as respectivas tecnologias que ela é capaz de operar, quanto é usada para o cálculo do comprimento de onda, fator que influencia no cálculo da intensidade do sinal.

Tabela 8. Relação de cada tecnologia com as respectivas frequências

	<i>Tecnologia</i>			
	2G	3G		4G
<i>Frequências</i>		869,0		
		880,0	1.850,0	
		890,0	1.860,0	
	869,0	891,5	1.865,0	763
	880,0	943,5	1.870,0	773
	890,0	952,5	1.872,5	783
	891,5	955,0	1.875,0	793
	943,5	957,5	1.877,5	2.570
	952,5	1.805,0	1.885,0	2.585
	955,0	1.820,0	1.890,0	2.620
	957,5	1.822,5	1.975,0	2.630
	1.805,0	1.825,0	2.110,0	2.650
	1.820,0	1.827,5	2.125,0	2.660
	1.835,0	1.830,0	2.135,0	2.770
	1.870,0	1.832,0	2.145,0	
		1.835,0	2.155,0	

Fonte: Teleco (2018)¹⁰

¹⁰ Disponível em: <http://www.teleco.com.br/areasc.asp>. Acesso 01/11/2017.

3.2.2. Modelos e metodologia de processamento

3.2.2.1. Modelo de Friis

No modelo de Friis (FRIIS, 1946) a potência recebida é função apenas da distância entre as antenas e a fórmula de Friis (apresentada no item 2.3.3) fornece a relação matemática para o cálculo.

Inicialmente foi feito o cálculo espacial da potência recebida de sinal a partir de um arquivo dividindo todo o território brasileiro em pixels de 30 por 30 metros. O seguinte algoritmo foi elaborado e aplicado para a tecnologia 4G.

Algoritmo 1 – Geração da superfície de sinal recebido

- 1) Para cada célula do território brasileiro:
 - 1.1) Encontra a antena mais próxima;
 - 1.2) A partir das informações da antena encontrada, aplica a fórmula de Friis;
 - 1.3) Atribui a potência recebida como igual à potência calculada.

A aplicação da fórmula de Friis, considera que a antena é isotrópica, isso é, que irradia as ondas de maneira idêntica em todas as dimensões. Dessa forma, o ganho da antena foi desconsiderado na fórmula usada para o cálculo. Embora seja uma relação relativamente simples, desconsiderando fatores como a diferença de altitude e a declividade no terreno, por exemplo, a fórmula de Friis apresenta a vantagem de ser válida para um amplo espectro de frequências e de não possuir restrições quanto à aplicação em diferentes meios (urbano ou rural).

3.2.2.2. Modelo Longley-Rice

A sigla do modelo ITM é acrônimo das palavras Irregular Terrain Model e sua formulação é conhecida também como Longley-Rice, que inclui uma interpretação mais realista da influência do terreno na transmissão e propagação de ondas. O modelo usa um cálculo bastante detalhado, que incorpora tanto a teoria eletromagnética quanto análises estatísticas para levar em consideração a irregularidade do terreno, a refratividade da superfície e a influência do clima no trajeto dos raios entre antenas (PARSONS, 2000). Além da maior acurácia proposta, sua faixa de aplicação varia de 20 a 20.000 MHz, sendo mais segura para a utilização das frequências acima de 2.000 MHz, como é o caso da tecnologia 4G. A implementação do modelo Longley-Rice utilizada no presente trabalho foi baseada no *software* Signal Server (FARRANT, 2019).

A formulação do modelo ITM é complexa e vai além do escopo da presente pesquisa. Uma descrição completa da metodologia pode ser encontrada em Hufford (1999) e a implementação utilizada foi a do *software* SPLAT! (KD2BD, 2019), em conjunto com o Algoritmo 1, apresentado anteriormente (item 3.2.2.1).

3.2.2.3. Metodologia de processamento

Para a conversão do sinal recebido em classes mais facilmente interpretáveis (p.ex. Sem Sinal, Sinal Ruim etc.), um processo de reclassificação é necessário. Nesse sentido, é preferível a utilização de padrões de um celular comercial comum, que tende a refletir com mais precisão a situação real de recepção de sinal no campo. Embora a literatura científica seja escassa sobre o assunto, devido à grande variabilidade existente nos celulares comerciais, a reclassificação se pautou pelos padrões da **Tabela 9**, adotados como referência por uma empresa privada do setor (Teltonika) que foi consultada.

Para comparar os resultados dos dois modelos mencionados, um *grid* subdividindo todo o território nacional em 1km x 1km foi gerado. Para a incorporação do terreno nos cálculos do modelo ITM, o modelo digital de elevação da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução espacial de 90 metros foi utilizado.

Tabela 9. Valores de referência para reclassificação da qualidade do sinal

Tecnologia: 2G	
Sem sinal	< -110 dBm
Ruim	Entre -110 e -100 dBm
Médio	Entre -100 e -85 dBm
Bom	Entre -85 e -70dBm
Excelente	> -70 dBm
Tecnologia: 3G	
Sem sinal	< -110 dBm
Ruim	Entre -110 e -100 dBm
Médio	Entre -100 e -85 dBm
Bom	Entre -85 e -70dBm
Excelente	> -70 dBm
Tecnologia: 4G	
Sem sinal	< -95 dBm
Ruim	Entre -95 e -85 dBm
Médio	Entre -85 e -75 dBm
Bom	Entre -75 e -65dBm
Excelente	> -65 dBm

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da Teltonika (2018)

3.3. Interação dos modelos de análise territorial para a expansão da agricultura irrigada e análise territorial visando a cobertura de banda larga (tecnologia 4G) para aplicação direcionada em políticas públicas

Esse procedimento foi realizado em ambiente Sistema de Informações Geográficas (SIG), cruzando as informações de área classificadas pelo modelo de disponibilidade de banda larga 4G no formato *raster* (Tif) com as classes da chave física e com a resultante de sua interação com chave de prioridade (**Tabela 3**) desenvolvidas por Sparovek et al. (2014), estas trabalhadas no formato vetorial.

As variáveis do modelo de disponibilidade de sinal de internet banda larga 4G eram classificadas em: 1- Sem sinal, 2- Ruim, 3 – Médio, 4- Bom e 5 – Ótimo (**Tabela 9**) e passaram pelo procedimento de reclassificação para conversão em um sistema binário, de modo que as classes 1, 2 e 3, foram reclassificadas como sinal fraco ou sem sinal e as classes 4 e 5, sinal forte. As variáveis utilizadas na interação das informações são apresentadas na **Tabela 10**. A interação dos modelos poderia ser realizada em diversas fases da metodologia de análise territorial para a expansão da agricultura irrigada de Sparovek et al. (2014), ou seja, com vários resultados das diversas chaves de decisão montadas, mas nesse caso, optou-se pela chave física por ser mais simples.

Tabela 10. Combinação de chave física do modelo de Sparovek et al. (2014) e classe de sinal de internet banda larga 4G

Chave física	Classe de sinal de internet banda larga 4G
Expansão	Sinal forte
	Sinal fraco ou inexistente
Estoque (Reserva técnica)	Sinal forte
	Sinal fraco ou inexistente
Manutenção e redirecionamento	Sinal forte
	Sinal fraco ou inexistente
Outra estratégia de desenvolvimento	Sinal forte
	Sinal fraco ou inexistente

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Necessidade de irrigação

4.1.1 Principal mês de semeadura para as culturas de interesse em nível municipal

O principal mês de semeadura para cada cultura por município (mês em que houve maior ocorrência de números de estabelecimentos plantando a determinada cultura), diferenciadas em irrigado e sequeiro, são apresentadas em mapas para facilitar a visualização dos dados. As cores no mapa representam os meses do ano em uma escala gradual que vai verde (janeiro) ao vermelho (dezembro).

Os dados obtidos para milho sequeiro e irrigado são apresentados na **Figura 5**. Para o milho sequeiro a maioria dos municípios da região Norte e Nordeste apresentam a semeadura no primeiro semestre do ano, com predomínio para os primeiros meses do ano. Já nas demais regiões ocorre o predomínio da semeadura no segundo semestre do ano, com exceção dos estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e alguns municípios da região Centro-Oeste. Nesta última provavelmente esses são plantios de milho safrinha (alternados com a cultura da soja).

Figura 5. Principal mês de semeadura para milho sequeiro e irrigado em nível municipal.

O padrão geral observado de época de semeadura para a cultura do feijão se assemelha ao padrão do no milho tanto para sistema de sequeiro como irrigado (**Figura 6**). Isto é, predomina a semeadura de sequeiro no primeiro semestre no Norte e Nordeste e no segundo semestre no Centro-Oeste, Sudeste e Sul do país. Entretanto, como a cultura do feijão tem ciclo curto, observa-se que no

sistema irrigado dá-se preferência em quase todo o país da utilização do segundo trimestre do ano para a sua semeadura, de modo a aproveitar a oportunidade de alocar uma safra de inverno entre maio e agosto.

Figura 6. Principal mês de semeadura para feijão sequeiro e irrigado em nível municipal.

Na cultura do arroz (**Figura 7**) observa-se a semeadura de sequeiro no segundo semestre em quase todos os municípios, com exceção de poucos municípios no Nordeste e Norte do país. A semeadura nas lavouras sob irrigação, por sua vez, tem um padrão de maior concentração geográfica em poucos municípios, corroborando uma concentração da maior produção em poucos polos regionais. Salienta-se nesse sentido o sul do Rio Grande do Sul nos sistemas de irrigação por inundação, bem como o oeste do Tocantins nos municípios do Vale do Araguaia, que são os dois principais polos de produção de arroz irrigado do país.

Figura 7. Principal mês de semeadura para arroz sequeiro e irrigado em nível municipal.

Na cultura da soja (**Figura 8**) observa-se que a semeadura concentra-se nas regiões Centro-Oeste e Sul do país, além de poucos municípios do Sudeste, Norte e Nordeste. A concentração geográfica da cultura acarreta uma maior homogeneização nas datas de semeadura, prevalecendo o segundo semestre (início de verão e estação chuvosa no centro do país) para soja irrigada e, para a soja de sequeiro, o final do verão em um aproveitamento de oportunidades de segunda safra.

Figura 8. Principal mês de semeadura para soja sequeiro e irrigada em nível municipal.

A cultura da cana-de-açúcar apresenta intensa concentração geográfica de plantio nas regiões Sudeste e Centro-Oeste (oeste do estado de São Paulo, triângulo mineiro, sudoeste goiano e leste do Mato Grosso do Sul), além de uma estreita faixa na zona da mata nordestina. Tal distribuição acarreta também uma padronização nas datas de plantio. Entretanto, o ciclo semi-perene da cultura e os diferentes sistemas de plantio (“plantio de ano”, “plantio de ano e meio” e “condução de soqueira”) apontam uma função de irrigação também bastante variável que pode ser de aproveitamento de vinhaça, irrigação de implantação, irrigação de salvamento de estiagens prolongadas, entre outras funções. Nesse sentido, a fixação de datas preferenciais de utilização de irrigação na cultura da cana-de-açúcar sofre influência da estratégia de mercado das usinas, padrão climático do ano agrícola e estratégia de manejo de longo prazo da cultura. A análise dos dados do Censo Agropecuário de 2006 indicam, portanto, uma situação referente ao ano em questão, que pode variar no tempo. Segundo essa análise, o plantio irrigado se concentra em quase todas as regiões relevantes no final do verão e na cultura de sequeiro predomina o plantio “de ano”, alocado no segundo semestre, bem como o plantio “de ano e meio” no oeste de São Paulo, alocado no primeiro semestre (**Figura 9**).

Figura 9. Principal mês de plantio para cana-de-açúcar sequeiro e irrigado em nível municipal.

4.2. Área irrigável

O processamento do modelo selecionou para cada local um cenário de maior e menor restrição.

Como pode ser visto na **Figura 10**, que ilustra a área irrigável calculada no cenário de maior restrição hídrica, e na **Figura 11**, de menor restrição hídrica, em quase todo o país o balanço quantitativo entre disponibilidade e uso de água superficial apontam para potencial de expandir a irrigação acima dos níveis de 100 ha por microbacia hidrográfica (tons verdes e azuis nos mapas). Entretanto, justamente nas áreas de maior necessidade de irrigação coincidente com clima semiárido e importantes áreas de agricultura irrigada como o sul do Rio Grande do Sul, os resultados nos dois cenários indicam indisponibilidade hídrica para expansão da irrigação, sugerindo a necessidade de investimento em estruturas de reservação de água, bem como monitoramento e regulação da retirada para não comprometer outros usos de água precedentes em importância em relação à irrigação.

Do ponto de vista quantitativo, o potencial de expansão da agricultura irrigada no Brasil varia, segundo a abordagem proposta neste trabalho, de 68Mha a 85Mha. Esse resultado está alinhado ao previamente calculado em Sparovek et al. (2014), que estimou um potencial de 75Mha de área adicional irrigável. Considerando que a agricultura irrigada abrange hoje uma área de aproximadamente 7Mha, o potencial calculado implicaria em uma capacidade de decuplicar da área irrigada no país para agricultura e pecuária. Evidentemente, nessa estimativa não estão consideradas variáveis de infraestrutura e socioeconômicas e portanto, o potencial realizável de expansão da irrigação está muito aquém do intervalo aqui estimado. De fato, segundo ANA, 2017 (Atlas Irrigação), aplicando-se à estimativa potencial de Sparovek et al. (2014), restrições de aptidão das terras e qualidade logística (existência de escoamento da produção e de energia elétrica), o potencial efetivo atingiria no máximo 11,2 Mha, dos quais apenas 3,1 Mha seriam realizáveis no horizonte de 2030 diante da capacidade de investimento e demanda por produtos.

Entende-se que o descolamento entre estimativas potenciais como a que foi desenvolvida neste trabalho e o potencial de expansão realizável é previsível. O investimento em melhorar e refinar a estimativa do potencial é passo fundamental para também aperfeiçoar a estimativa do potencial realizável porque ambas estão interconectadas. Nesse sentido, os resultados obtidos são um passo que pode contribuir para o planejamento da expansão da agricultura irrigada no Brasil e na orientação de políticas públicas correlatas ao tema.

Figura 10. Área irrigável no cenário menos restritivo

Figura 11. Área irrigável no cenário mais restritivo

Tabela 11. Área irrigável para os cenários mais e menos restritivo.

Região / UF	Menos restritiva		Mais restritiva		Área total
	Média de INI	AI	Média de INI	AI	
CENTRO-OESTE	0,8707	22.003.614,43	0,9853	18.467.022,67	160.691.862,15
Distrito-Federal	0,6845	74.762,58	0,9689	55.515,88	593.208,70
Goiás	0,7489	6.234.681,50	0,9679	5.081.839,01	34.017.020,00
Mato Grosso	0,9073	10.592.416,69	0,9914	9.201.341,59	90.425.530,66
Mato Grosso do Sul	0,9143	5.101.753,66	0,9885	4.128.326,19	35.656.102,79
NORDESTE	0,8242	9.647.160,00	0,8902	7.840.114,01	154.742.170,07
Alagoas	0,8049	165.103,73	0,7105	103.829,64	2.792.057,69
Bahia	0,6446	4.163.734,01	0,8348	3.227.950,82	56.379.725,24
Ceará	0,9563	545.967,77	0,9379	502.373,28	14.809.440,23
Maranhão	0,9395	2.235.767,56	1,0000	1.917.258,72	32.676.064,03
Paraíba	0,9223	195.075,47	0,8130	181.487,61	5.632.519,10
Pernambuco	0,9224	386.722,98	0,8281	339.969,70	9.831.126,90
Piauí	0,7656	1.734.655,23	0,9873	1.401.940,22	25.142.605,79
Rio Grande do Norte	0,8411	110.950,36	0,7645	98.262,49	5.297.216,99
Sergipe	0,9713	109.182,89	0,6626	67.041,53	2.181.414,10
NORTE	0,9676	26.986.918,32	0,9807	22.947.351,17	382.010.057,34
Acre	0,9985	865.344,86	1,0000	674.133,79	16.417.919,88
Amapá	1,0000	751.031,36	1,0000	697.618,45	14.082.922,60
Amazonas	0,9889	12.784.064,55	0,9949	10.350.086,26	155.851.232,93
Pará	0,9512	5.702.735,40	0,9871	5.090.350,97	121.840.376,81
Rondônia	0,9427	1.794.266,43	0,9632	1.511.179,97	23.688.720,79
Roraima	0,9190	2.126.472,10	0,8746	1.890.293,95	22.372.660,41
Tocantins	0,9477	2.963.003,62	0,9836	2.733.687,78	27.756.223,92
SUDESTE	0,7438	15.045.344,22	0,9366	11.995.590,24	92.311.484,53
Espírito Santo	0,8901	660.284,63	0,9569	479.039,18	4.591.732,01
Minas Gerais	0,6464	8.940.954,00	0,9117	7.240.986,66	58.699.688,32
Rio de Janeiro	0,9363	729.152,48	0,9574	581.767,96	4.295.131,60
São Paulo	0,8926	4.714.953,11	0,9819	3.693.796,44	24.724.932,60
SUL	0,9949	11.342.389,50	0,9950	6.960.971,13	56.368.598,46
Paraná	0,9973	4.198.538,38	0,9995	2.719.772,10	19.749.055,29
Rio Grande do Sul	0,9935	4.880.203,17	0,9913	2.832.387,09	27.138.522,75
Santa Catarina	0,9952	2.263.647,95	0,9997	1.408.811,94	9.481.020,42
Total Geral	0,8940	85.025.426,47	0,9586	68.211.049,22	846.124.172,55

4.3. Análise territorial visando a cobertura de banda larga (telefonia móvel 4G) nas áreas com sistema de irrigação do tipo pivô central com vistas à automação remota

4.3.1. Classificação das torres de telefonia móvel: tecnologia disponível (2G, 3G e 4G)

Uma breve comparação da concentração das antenas nas regiões do país é mostrada na **Tabela 12**. Os dados indicam maior cobertura de antenas nas regiões de maior desenvolvimento econômico do país: Sudeste e Sul. No Norte, a região do país que possui menor cobertura, a densidade de antenas chega a ser 30 vezes menor do que na região Sudeste. Embora essa análise sugira e aponte para uma melhor conectividade de determinadas regiões, ela desconsidera a tecnologia relativa a cada antena, bem como o tipo de ocupação humana no entorno (ex. urbano, rural, agropecuária, conservação ambiental, etc.). O fato que vale ser ressaltado é que a maior densidade de antenas pode não significar necessariamente um melhor sinal, uma vez que essas antenas podem operar apenas tecnologias de menor qualidade de conexão. Para incluir essa discriminação no modelo, é necessário analisar individualmente as frequências de operação das antenas.

Tabela 12. Dados da distribuição de antenas no Brasil

Região	Área total (Milhões de ha)	Número de antenas	Densidade de antenas (antenas/Milhões de ha)	Média de antenas por município
Norte	389,3	4,949	12,71	11,04
Nordeste	159,4	15,884	99,63	8,85
Sudeste	104,3	40,517	388,22	24,33
Sul	71,7	13,362	186,34	11,27
Centro-Oeste	173,1	6,570	37,95	14,50

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANATEL (2018) e IBGE.

O resultado da classificação da frequência das antenas na respectiva tecnologia disponível é apresentado na **Figura 12** e **Tabela 13**. Cada ponto vermelho transparente representa uma estação. O vermelho mais intenso representa maior concentração de antenas próximas.

Figura 12. Classificação da frequência das antenas de telefonia para tipo de tecnologia móvel no Brasil.

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da ANATEL (2018)

Tabela 13. Distribuição das antenas por tipo de tecnologia móvel disponível.

Região / UF	Número de antenas		
	2G	3G	4G
CENTRO-OESTE	5.897	6.549	4.881
Distrito-Federal	565	624	546
Goiás	3.231	3.576	2.767
Mato Grosso	1.205	1.334	873
Mato Grosso do Sul	896	1.015	695
NORDESTE	8.485	10.909	5.842
Alagoas	493	611	302
Bahia	3.262	3.742	2.409
Ceará	653	1.314	472
Maranhão	815	911	457
Paraíba	569	785	340
Pernambuco	970	1.389	740
Piauí	707	907	496
Rio Grande do Norte	479	640	245
Sergipe	537	610	381
NORTE	4.407	4.947	3.310
Acre	146	176	128
Amapá	209	232	167
Amazonas	1.112	1.232	768
Pará	1.787	2.037	1.524
Rondônia	482	541	369
Roraima	135	148	102
Tocantins	536	581	252
SUDESTE	32.006	38.193	21.751
Espírito Santo	1.138	1.323	624
Minas Gerais	8.371	9.718	4.976
Rio de Janeiro	6.611	8.605	5.177
São Paulo	15.886	18.547	10.974
SUL	10.411	11.353	5.995
Paraná	4.380	4.829	2.542
Rio Grande do Sul	4.494	4.818	2.708
Santa Catarina	1.537	1.706	745
Total Geral	61.206	71.951	41.779

4.3.2. Qualidade da cobertura 4G

4.3.2.1. Modelo de Friis

A primeira aproximação da modelagem espacial adotou o que Molisch (2011)¹¹ define como sendo o cenário mais simples possível: um transmissor e um receptor em espaço livre. Este é o caso do modelo de Friis, no qual a potência recebida é função apenas da distância entre as antenas e a Fórmula de Friis fornece a relação matemática para o cálculo. A qualidade da cobertura de sinal resultante da modelagem Friis para a tecnologia 4G pode ser vista na **Figura 13**.

Figura 13. Superfície de cobertura da tecnologia 4G – modelo Friis

Fonte: Elaboração própria

Em nível nacional (**Tabela 14**), a tecnologia para a 4G cobre apenas 6,22% do território com nível de qualidade excelente, fruto da combinação da menor sensibilidade dos dispositivos e a rede de estações disponíveis menos extensa em relação às outras tecnologias (2G e 3G) (**Tabela 13**).

¹¹ MOLISCH, A. F. *Wireless communications*. 2ed. John Wiley & Sons: Chichester, 2011.

Tabela 14. Percentual de sinal 4G excelente nos territórios estaduais a partir do modelo Friis

Região	Estado	Percentual de área com sinal excelente 4G
Norte	Rondônia	0,66
	Acre	0,67
	Amazonas	0,86
	Roraima	1,63
	Pará	0,81
	Amapá	5,59
	Tocantins	6,92
Nordeste	Maranhão	9,80
	Piauí	18,15
	Ceará	32,78
	Rio Grande do Norte	31,22
	Paraíba	21,77
	Pernambuco	26,09
	Alagoas	25,44
	Sergipe	13,84
	Bahia	13,83
Sudeste	Minas Gerais	28,41
	Espírito Santo	15,42
	Rio de Janeiro	9,04
	São Paulo	6,86
Sul	Paraná	18,13
	Santa Catarina	12,67
	Rio Grande do Sul	4,39
Centro-Oeste	Mato Grosso do Sul	2,79
	Mato Grosso	11,25
	Goiás	25,97
	Distrito Federal	0,66
<i>Brasil</i>		<i>6,22</i>

4.3.2.2. Modelo ITM

A qualidade da cobertura de sinal resultante da modelagem ITM A para a tecnologia 4G pode ser vista na **Figura 14**.

Figura 14. Superfície de cobertura da tecnologia 4G – modelo ITM

Fonte: Elaboração própria

A tecnologia 4G cobre apenas 5,20% do território com nível de qualidade excelente para o modelo ITM aplicado em nível nacional (**Tabela 15**). Os estados da região Nordeste possuem um bom nível de cobertura com sinal excelente em relação às demais regiões.

Tabela 15. Percentual de sinal 4G excelente nos territórios estaduais a partir do modelo ITM

Região	Estado	Percentual de área com sinal excelente 4G
Norte	Rondônia	4,06
	Acre	0,68
	Amazonas	0,69
	Roraima	0,76
	Pará	1,63
	Amapá	0,76
	Tocantins	4,59
Nordeste	Maranhão	5,94
	Piauí	8,35
	Ceará	15,01
	Rio Grande do Norte	25,81
	Paraíba	21,49
	Pernambuco	17,08
	Alagoas	20,77
	Sergipe	19,70
	Bahia	10,33
Sudeste	Minas Gerais	10,30
	Espírito Santo	18,54
	Rio de Janeiro	12,75
	São Paulo	9,79
Sul	Paraná	5,43
	Santa Catarina	10,85
	Rio Grande do Sul	9,44
Centro-Oeste	Mato Grosso do Sul	3,88
	Mato Grosso	2,40
	Goiás	8,60
	Distrito Federal	18,87
<i>Brasil</i>		<i>5,20</i>

Fonte: Elaboração própria

4.3.2.3. Comparação de resultados entre os modelos ITM e Friis

O modelo ITM incorpora mais fatores como a altitude e a existência de obstáculos, muito importantes para a transmissão no mundo real. Na comparação entre os modelos nota-se que o ITM fornece amplitudes de sinal mais estreitas que o de Friis. Por meio da incorporação do terreno de uma maneira mais detalhada, o ITM nem subestima a importância das obstruções como a Fórmula de Friis e nem reduz toda a complexidade do problema a poucos coeficientes fixos, como outros modelos (p.ex. o modelo COST231-Hata) tendem a fazer. Essa propriedade fica particularmente evidente na **Figura 15**, onde os dois diferentes padrões de difusão são colocados lado a lado para uma única

antena. Na direita, a Fórmula de Friis tende a superestimar a difusão ao longo do território enquanto no modelo ITM, na esquerda, atribui uma intensidade diferente para cada pixel, em função do relevo no caminho entre transmissor-receptor, evidenciando que o modelo os resultado da simulação do sinal tende a ser mais relacionada ao ambiente.

Figura 15. Diferença entre os modelos utilizados para uma única antena no estado do Pará.

Fonte: Elaboração própria

Ao se comparar os resultados diretos quanto ao efeito sobre a cobertura de sinal excelente, verifica-se que o modelo Friis apresenta 6,22% de cobertura (**Tabela 14**), enquanto o ITM apresenta 5,20% de cobertura (**Tabela 15**), ressaltando a diferença na incorporação de outros fatores. Apesar da diferença percentual ser pequena em termos de área coberta, esse valor é significativo, chegando a mais de um milhão de hectares.

A **Figura 16** apresenta a porcentagem de área coberta em cada UF com sinal excelente de acordo os dois modelos trabalhados. Os estados da região Norte (Roraima, Amapá, Amazonas, Pará e Acre) e os estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo praticamente não apresentaram diferenças entre os modelos, fato que deve estar relacionado à quantidade e localização das torres. Já os estados de Santa Catarina, Rio Grande do Norte, Espírito Santo e Paraíba e o Distrito Federal apresentaram as maiores diferenças de porcentagem de área coberta.

Figura 16. Diferença entre os modelos ITM e Friis, porcentagem de área coberta com sinal excelente (4G).

Fonte: Elaboração própria

Conforme consta na **Figura 17** (Friis), mesmo o Nordeste, região com maior parte do território coberto por 4G de excelente qualidade, apenas metade dos municípios possui mais de 5% do território coberto com 4G de excelente qualidade. Além disso, conforme o tamanho do território aumenta, o percentual de municípios com cobertura excelente decresce rapidamente. Também no Nordeste, apenas 20% dos municípios possuem cobertura excelente em mais da metade de seus

territórios. No Norte, a região com pior cobertura excelente de 4G, este percentual é muito inferior: 5%.

Figura 17. Percentual de municípios com cobertura excelente de 4G, por região (Friis e ITM)

Fonte: Elaboração própria

Conforme pode ser visto na **Figura 18**, as curvas para o modelo ITM foram deslocadas para baixo em relação às do modelo de Friis. A região Nordeste, que tinha 20% dos municípios com cobertura excelente em mais da metade de seus territórios, passou para cerca de 11% com o ITM e no Norte, a região com pior cobertura excelente de 4G, este percentual passou para cerca de 1%.

A informação do eixo horizontal da **Figura 18**, o percentual do território coberto por sinal excelente de 4G (Friis) pode ser calculado também por município a partir dos dados da **Figura 13** e o valor pode ser de grande interesse para a elaboração de políticas públicas, pois permite identificar locais críticos. Um exemplo de criticidade encontrada por meio dessa análise é que 2.270 municípios usando o modelo ITM, ou seja, 40% dos municípios do país possuem a totalidade de seus territórios sem qualquer cobertura excelente de 4G.

A **Figura 18** apresenta também uma classificação dos municípios que possuem algum sinal excelente de 4G em seus territórios. Um corte foi feito no percentil de 50%, de modo que os municípios em amarelo são aqueles que possuem os menores percentuais e em verde, aqueles com maiores percentuais de cobertura. Nota-se que os municípios mais críticos se concentram sobretudo nas regiões Norte e Centro-Oeste, pois em ambos os casos há poucos municípios com altos percentuais de cobertura excelente e um grande número de municípios sem qualquer sinal excelente. Na região Sul, muitos dos municípios que não possuem qualquer sinal se localizam no estado do Paraná. A situação é, em geral, melhor em Santa Catarina e Rio Grande do Sul. No Sudeste e Nordeste a situação é menos problemática e geograficamente isso se reflete na maior concentração de municípios com altos percentuais de cobertura.

Mesmo sendo uma abordagem bastante simples e que desconsidera fatores que na prática da transmissão são importantes, sobretudo o relevo e a existência de obstáculos entre as antenas, uma validação empírica do modelo de Friis com o Sistema Mosaico¹² da ANATEL mostrou coincidência das predições para pelo menos 100 pontos verificados manualmente ao longo do território nacional. Esse resultado indica que a Fórmula de Friis é adequada para uma abordagem inicial do problema, mas a complexidade do fenômeno demanda que cálculos mais elaborados sejam realizados para que resultados mais realísticos sejam obtidos, por isso um modelo altamente complexo como o ITM foi também estudado.

O modelo ITM em função de sua robustez foi o escolhido para o decorrer das análises com os pivôs centrais.

¹² Acesso em <https://sistemas.anatel.gov.br/mosaico>.

Figura 18. Classificação dos municípios brasileiros quanto ao sinal excelente de 4G.

Fonte: Elaboração própria

4.4. Áreas com pivô central e qualidade da cobertura 4G pelo modelo ITM

De acordo com o banco de dados de pivôs centrais mapeados (ANA, 2019)¹³, existem 23.181 com área média de 60 hectares (**Figura 19**) distribuídos por todo o território nacional nos municípios ilustrados na **Figura 20**.

Esses pivôs perfazem o total aproximado de 1,5 milhões de hectares de área, tendo a maior concentração em número no estado de Minas Gerais (**Tabela 16**). A região Sudeste tem 52% do total de pivôs que representam 45% da área coberta com essa tecnologia. Na região Norte, a maioria dos pivôs centrais ficam localizados no Tocantins (83%) (**Tabela 16**), sendo essa a única Região Geográfica de baixo desenvolvimento da agricultura irrigada (ANA & EMBRAPA, 2019).

Na região Centro-oeste, a segunda com maior volume de área ocupada com essa tecnologia, representando 29% do total, a área média dos pivôs no estado do Mato do Grosso é de 122 hectares, enquanto que no Distrito Federal, essa área média é de apenas 56 hectares (**Tabela 16**). Essa região vem aumentando sua participação desde a década de 1990 no cenário nacional, puxado por Goiás.(ANA & EMBRAPA, 2019), que tem quase 4 mil pivôs e uma área ocupada superior a 270 mil hectares (**Tabela 16**). Já a Região Sul vem aumentando sua participação de forma mais expressiva no uso dessa tecnologia a partir de 2010, quando o Rio Grande do Sul ultrapassou 100 mil hectares equipados para irrigação por pivôs (ANA & EMBRAPA, 2019). Atualmente representam cerca de 8% do volume de área ocupada com essa tecnologia (**Tabela 16**) e o tamanho médio dos equipamentos gira entorno de 60 hectares **Figura 19**.

Essa tecnologia de agricultura irrigada apresentou crescimento forte e persistente nas últimas décadas, e que se acelerou ainda mais a partir de 2010 (ANA e EMBRAPA, 2019), evidenciando a sua importância no cenário nacional.

Figura 19. Área média com pivô central.

Fonte: Elaboração própria com base de dados ANA (2019)

¹³ Disponível em: <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadata.show?id=328&currTab>. Acesso 01/08/2019.

Tabela 16. Pivôs centrais por Unidade da Federação

Região	UF	n	área (ha)
Norte	Rondônia	5	656,2
	Acre	0	0,0
	Amazonas	0	0,0
	Roraima	25	2.271,6
	Pará	2	250,6
	Amapá	0	0,0
	Tocantins	156	14.392,3
Nordeste	Maranhão	69	5.492
	Piauí	40	2.592
	Ceará	144	8.422
	Rio Grande do Norte	57	3.229
	Paraíba	88	3.836
	Pernambuco	19	1.037
	Alagoas	117	4.014
	Sergipe	24	600
	Bahia	3.110	216.631
Sudeste	Minas Gerais	7.401	452.190
	Espírito Santo	309	14.418
	Rio de Janeiro	2	85
	São Paulo	4.262	190.507
Sul	Paraná	207	12.256
	Santa Catarina	11	612
	Rio Grande do Sul	1.683	110.859
Centro-Oeste	Mato Grosso do Sul	320	31.878
	Mato Grosso	929	113.125
	Goiás	3.945	272.329
	Distrito Federal	256	14.417
Brasil		23.181	1.476.101

Fonte: Elaboração própria com base de dados ANA (2019).

Figura 20. Municípios com e sem pivô central.

Fonte: Elaboração própria com base de dados ANA (2019).

Essa etapa do trabalho visando detectar a extensão das áreas cobertas com internet sinal 4G, consistiu na análise de dados do cruzamento entre as áreas dos pivôs centrais com as áreas mapeadas com sinal de internet geradas pelo modelo ITM.

Os resultados apresentados na **Figura 21** indicam que cerca de 1.900 pivôs dos existentes (**Tabela 16**) teriam 100% de sua área coberta com sinal excelente de banda larga 4G, fato que possibilitaria pensar em agricultura altamente conectada (Agro 4.0) funcionando como uma rede, conforme colocado por Massruhá & Leite (2017). Nessas áreas é possível uma ampla distribuição de sensores para a coleta e transmissão de dados visando a sua completa automação e controle de informações de forma remota, que poderia ser feita através do uso de aparelhos de telefonia móvel com aplicativos instalados para essa finalidade. Hoje muitas empresas do setor de equipamentos possuem aplicativos para telefones móveis desenvolvidos para o controle dos pivôs, recebendo informações de sensores e transmitindo comandos.

Um sistema de tempo real para o monitoramento remoto de terras irrigadas através de dispositivos móveis com acesso a internet foi desenvolvido e testado por Almeida et al. (2012), sendo identificado como um ponto de melhoria futura a implementação de técnicas de *data mining*¹⁴ sobre os dados coletados para alcançar novas concepções. Neste caso o uso de internet banda larga de tecnologia 4G (ou superior), como abordado nessa pesquisa, seria necessário para viabilizar o fluxo de grande quantidade de dados.

É importante destacar que o sistema de pivô central tem sido o mais utilizado em função da capacidade de distribuição uniforme da água requerida pelas culturas, alto grau de automação, adaptação a diferentes tipos de solo e irrigação de grandes áreas, além da mencionada capacidade de aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas (EVANS, 2001 *apud* ANA & EMBRAPA, 2019). Entretanto, em sistemas de irrigação como o pivô central, que se aplica a grandes áreas, a comunicação de sensores com um controlador via cabos é inviável por causa da grande distância (QUEIROZ et al, 2008). Esse fato reforça o argumento de que o uso de sinal de internet banda larga poderia auxiliar muito o processo de conectividade e implantação do Agro 4.0 nas áreas irrigadas por pivôs centrais, facilitando o processo de automação dos mesmos.

Áreas de pivôs centrais com cobertura parcial de sinal de internet banda larga também podem ser usadas para coleta de informações e automação dos pivôs centrais. Entretanto, as informações coletadas dessas áreas precisam ser avaliadas quanto à sua representatividade ou não para o pivô central como um todo. Nesse caso, a avaliação deve abranger a cobertura tanto para a coleta de informações, quanto para a transmissão de comandos para o pivô. Na **Figura 21** pode se ver que cerca de 1,100 pivôs, além dos 1.900 com cobertura de sinal em toda a área, tem pelo menos 50% de sua área coberta por sinal excelente de internet banda larga 4G. No ponto extremo dessa perspectiva, cabe destacar que quase 18% dos pivôs centrais do Brasil teriam pelo menos 5% de sua área coberta com sinal excelente de internet 4G, que possibilitaria ao menos o uso de uma estação meteorológica voltada ao manejo da irrigação, operando com o envio constante de informações coletadas.

¹⁴ *Data Mining*, ou Mineração de Dados, é uma área de pesquisa multidisciplinar, incluindo principalmente as tecnologias de bancos de dados, inteligência artificial, estatística, reconhecimento de padrões, sistemas baseados em conhecimento, recuperação da informação, computação de alto desempenho e visualização de dados (CARDOSO, 2005).

Figura 21. Percentual de área de pivôs com cobertura de sinal 4G excelente.

Fonte: elaboração própria.

Por outro lado, a **Figura 22**, mostra que mais de 5.000 pivôs (24,33% do total) não teriam nenhuma parte de sua área atingida por sinal banda larga 4G e que cerca de 11.000 teriam pelo menos 50% da área com algum sinal, não sendo avaliada a qualidade desse sinal 4G, que também varia, conforme pode ser visto na **Figura 14**.

Figura 22. Percentual de área de pivôs sem cobertura de sinal 4G.

Fonte: elaboração própria.

Os cerca de 1.900 pivôs dos existentes com 100% de sua área coberta com sinal excelente de banda larga 4G (**Figura 21**) representam aproximadamente 90 mil hectares (**Tabela 17**). Os estados com maiores áreas nessa condição são Minas Gerais, Bahia, Goiás e São Paulo, perfazendo cerca de 75% desse total. Do total de pivôs com pelo menos 50% de sua área coberta com sinal excelente de banda larga 4G (**Figura 21**), a área coberta pelo sinal corresponde à aproximadamente 165 mil hectares (**Tabela 17**), cerca de 10% da área coberta no Brasil com essa tecnologia, conforme os dados trabalhados nesse estudo e os dados publicados por ANA & EMBRAPA (2019).

Tabela 17. Quantitativo de pivôs centrais e área com cobertura de sinal 4G excelente

UF	N pivôs	% de pivôs com 100% da área com sinal	Área dos pivôs com 100% da área com sinal	% de pivôs com pelo menos 50% da área com sinal	Área dos pivôs com pelo menos 50% da área com sinal
Rondônia	5	0,00	-	0,00	-
Acre	-	-	-	-	-
Amazonas	-	-	-	-	-
Roraima	25	0,00	-	0,00	-
Pará	2	0,00	-	0,00	-
Amapá	-	-	-	-	-
Tocantins	156	4,49	1.095	10,26	2.005
Maranhão	69	0,00	-	1,45	56
Piauí	40	10,00	187	15,00	222
Ceará	144	26,39	1.417	39,58	2.403
Rio Grande do Norte	57	17,54	617	28,07	1.094
Paraíba	88	7,95	243	17,05	649
Pernambuco	19	5,26	30	21,05	218
Alagoas	117	8,55	341	9,40	419
Sergipe	24	29,17	96	29,17	96
Bahia	3.109	13,80	13.756	18,08	22.181
Minas Gerais	7.394	7,95	30.079	13,31	54.993
Espírito Santo	309	27,51	3.792	47,57	6.924
Rio de Janeiro	2	50,00	43	50,00	43
São Paulo	4.262	5,37	9.187	7,81	14.718
Paraná	207	1,45	115	3,38	551
Santa Catarina	11	0,00	-	0,00	-
Rio Grande do Sul	1.683	6,71	5.414	13,19	12.288
Mato Grosso do Sul	320	6,56	1.809	10,94	3.174
Mato Grosso	929	5,38	5.778	10,98	12.524
Goiás	3.943	5,96	12.765	10,58	25.801
Distrito Federal	256	21,09	2.468	32,03	4.330
<i>Brasil</i>	23.171*		89.233		164.691

* 10 pivôs foram excluídos por apresentarem área menor que a unidade do pixel de processamento do modelo.

Fonte: Elaboração própria

Mais de 5.000 pivôs tem 100% de sua área explorada sem sinal de banda larga 4G (**Figura 22**) e representam aproximadamente 300 mil hectares (**Tabela 18**). Os estados com maiores áreas nessa condição são Minas Gerais, Bahia, Goiás e São Paulo, perfazendo cerca de 82% desse total. Do total de pivôs dos com pelo menos 50% de sua área sem sinal de internet banda larga 4G (**Figura 21**), a área coberta pelo sinal corresponde à aproximadamente 700 mil hectares, cerca de 50% da área coberta no Brasil com essa tecnologia, conforme os dados trabalhados nesse estudo e os dados publicados por ANA & EMBRAPA (2019).

A Agro4.0 é uma realidade que se apresenta forte no cenário agrícola do país (PARRONCHI, 2019; MASSRUHÁ & LEITE, 2017) e a agricultura irrigada marca o salto para uma nova fronteira de produção. Entretanto, pelo dados apresentados na **Figura 22** e **Tabela 18** a internet banda larga 4G para as áreas de com sistema de pivô central ainda encontram-se com baixo nível de cobertura, visto que cerca de 700 mil hectares tem pelo menos 50% de sua área sem sinal de internet 4G.

Diversas ações recentes do governo federal visaram ampliar a oferta de banda larga no meio rural, com destaque para a Lei Geral das Telecomunicações (LGT); o Programa Nacional de Banda Larga (PNBL); a estruturação da ANATEL como agente regulador e na atribuição da Telebrás na implantação da infraestrutura de telecomunicações; as medidas para estímulo a investimentos do setor privado, como isenções fiscais e redução de cargas tributárias; e a constituição de fontes de recursos para investimentos em infraestrutura física terrestre. Entretanto, como pode ser visto na **Figura 14**, essas ações não conseguiram cobrir grandes extensões de área em relação a tecnologia banda larga 4G com sinal excelente e apenas cerca de 5% do território nacional conta com essa ferramenta para desenvolvimento da Agro 4.0.

Destaca-se que ainda há muita carência de informações espacializadas sobre áreas prioritárias para o estabelecimento de conectividade no meio rural, bem como de diretrizes de ação regionalizadas e direcionadas aos diversos públicos-alvo localizados no território rural. Nesse sentido, uma ampliação do estudo de análise territorial aqui proposto para analisar o potencial de conectividade de pivôs centrais via internet de telefonia móvel poderia ser realizado, buscando mapear áreas de interesse prioritário para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas para a expansão da conectividade e a Agro 4.0 dentro dos sistemas de produção irrigados.

Tabela 18. Quantitativo de pivôs centrais e área sem cobertura de sinal 4G

UF	Nº pivôs	% de pivôs com 100% da área sem sinal	Área dos pivôs com 100% da área sem sinal	% de pivôs com pelo menos 50% da área sem sinal	Área dos pivôs com pelo menos 50% da área sem sinal
Rondônia	5	60	450	80	573
Acre	-	-	-	-	-
Amazonas	-	-	-	-	-
Roraima	25	32	391	64	1.405
Pará	-	-	-	-	-
Amapá	2	50	117	100	251
Tocantins	156	19	2.394	42	5.572
Maranhão	69	39	2.075	68	3.713
Piauí	40	25	572	55	1.626
Ceará	144	5	353	19	2.036
Rio Grande do Norte	57	4	80	11	265
Paraíba	88	34	1.256	52	1.948
Pernambuco	19	11	39	21	181
Alagoas	117	11	327	18	616
Sergipe	24	38	193	58	391
Bahia	3.109	23	43.941	43	110.596
Minas Gerais	7.394	24	92.092	44	198.759
Espírito Santo	309	6	605	15	1707
Rio de Janeiro	2	0	0	0	0
São Paulo	4.262	29	43.411	49	92.619
Paraná	207	29	2.620	59	7.247
Santa Catarina	11	0	0	55	364
Rio Grande do Sul	1.683	19	18.524	45	50.959
Mato Grosso do Sul	320	15	4328	41	12.853
Mato Grosso	929	17	16.001	50	56.773
Goiás	3.943	29	66.796	54	145.022
Distrito Federal	256	20	2.659	34	5.076
<i>Brasil</i>	23.171*		299.222		700.549

* 10 pivôs foram excluídos por apresentarem área menor que a unidade do pixel de processamento do modelo.

Fonte: Elaboração própria

4.5. Interação dos modelos de análise territorial para a expansão da agricultura irrigada de Sparovek et al. (2014) e análise territorial visando a cobertura de banda larga (tecnologia 4G) para aplicação direcionada em políticas públicas

O trabalho desenvolvido por Sparovek et al. (2014) criou uma chave física (classes territoriais de agricultura irrigada) para agrupamento de áreas que tinham características consideradas importantes para representar o potencial de expansão da agricultura irrigada: (i) expansão; (ii) estoque (reserva técnica); (iii) manutenção e redirecionamento; e, (iv) outras estratégias. A nomenclatura dada a cada uma das classes busca representar a sua essência principal no contexto de seu uso (no caso, para gestores de políticas públicas com enfoque em agricultura irrigada), ou seja, a própria nomenclatura da classe remete para como essa área deve ser considerada na tomada de decisão.

A classe territorial expansão foi definida como sendo o resultado da combinação de áreas (bacias) com alta ou média área adicional irrigável; alta ou média área Irrigada: condição em que a agricultura irrigada já faz parte da matriz produtiva e o meio físico ainda tem capacidade de suportar uma expansão de áreas irrigadas sem comprometer abastecimento público ou gerar conflitos de uso de recursos hídricos. Por serem regiões de agricultura irrigada já instalada, as áreas mapeadas como classe expansão tem grande probabilidade de contarem com infraestrutura suficiente e sociedade já adaptada tecnicamente ao cultivo de culturas irrigadas. O processamento de interação dos modelos criando novos agrupamentos territoriais, como proposto nesse trabalho, leva a necessidade de definição de uma nova nomenclatura, a qual deve considerar todos elementos desse novo contexto, nesse caso, a inserção de uma importante informação como a existência de sinal forte de internet banda larga 4G de telefonia móvel, ou seja, conectividade.

Os resultados de processamento da interação dos modelos, no caso das classes territoriais de agricultura irrigada e de disponibilidade de sinal de internet banda larga 4G são apresentados na **Tabela 19**. De forma quantitativa os resultados, entre outras coisas, mostram que cerca de 22% da área territorial de expansão tem sinal forte de internet 4G, assim como o território de manutenção e redirecionamento tem cerca de 29% de sua área coberta com esse mesmo tipo de sinal.

Essas são informações poderosas para os gestores públicos para a tomada de decisão em relação a determinadas ações a serem definidas, visto que trazem quantificações que permitem dimensionamentos diversos (esforços, recursos financeiros e humanos, etc.). Por exemplo, dentro de estratégias de fortalecimento da agricultura irrigada tem ações para incentivar produtores que vão começar ou já praticam a agricultura irrigada a usar sistemas automatizados, nesse caso os incentivos e ações deveriam focar os territórios de expansão, pois reúnem elementos essenciais elencados na sua caracterização¹⁵ e ainda concentra-se na áreas com sinal forte de internet banda larga 4G, visto que a

¹⁵ Combinação de áreas (bacias) com alta ou média área adicional irrigável; alta ou média área Irrigada: condição em que a agricultura irrigada já faz parte da matriz produtiva e o meio físico ainda tem capacidade de suportar uma expansão de áreas irrigadas sem comprometer abastecimento público ou gerar conflitos de uso de recursos hídricos.

existência dessa variável pode trazer facilidade de implantação e maior eficiência para o processo de automação, como discutido anteriormente nesse trabalho (item 4.4). Para essas áreas também caso houvesse a estratégia de realizar cursos de capacitação, este poderia ser praticado por meio de ensino a distância (EAD), visto que os locais apresentam boa conectividade via internet. A partir do exemplo acima é possível visualizar o dinamismo que se pode empreender na modelagem, ou seja, na ferramenta de análise territorial da agricultura irrigada para adequar seus resultantes com a agregação de novas informações ao que se deseja responder.

Tabela 19. Disponibilidade de sinal de internet banda larga 4G em áreas de classes territorial de agricultura irrigada.

Classes territoriais de agricultura irrigada	Sinal fraco ou inexistente		Sinal forte	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Estoque (Reserva técnica)	603.395	87,45	86.593	12,55
Expansão	2.586.136	77,91	733.331	22,09
Manutenção & redirecionamento	646.256	70,99	264.069	29,01
Outras estratégias	3.355.078	94,76	185.669	5,24

Fonte: Elaboração própria

Também os resultados de processamento da interação desses modelos necessariamente podem ser apresentados em formato espacializado, pois a base de construção da modelagem tem como elemento comum a todas as variáveis envolvidas a sua dimensão espacial explícita, ou seja, a territorialidade (**Figura 23** e **Figura 24**). Na **Figura 23** são apresentados os resultados da interação das classes expansão e estoque (reserva técnica). Os resultados mostram que para as áreas que representam a classe expansão (mapa superior da figura) não há uma concentração localizada de sinal forte, estes permeiam por diferentes pontos, sempre associados a centros urbanos. Poucas áreas concentradas maiores chamam a atenção por não terem sinal forte, podendo ser destacado o MATOPIBA, centro-norte do Mato Grosso e região leste do Mato Grosso do Sul. Já as áreas do território estoque, por naturalmente terem menos infraestrutura (princípio de sua constituição)¹⁶, tem ocorrência muito pequena de sinal forte, os quais aparecem em pontos dispersos.

¹⁶ A classe estoque é resultado da combinação de **alta área adicional irrigável; baixa área irrigada**: regiões em que ainda não há agricultura irrigada, mas que esta é importante para o desenvolvimento da agricultura por serem regiões classificadas como de alta ou média “Necessidade de Irrigação”. A Classe estoque aponta regiões estratégicas para enfoque de médio e longo prazo, situadas em locais que ainda não apresentam uma dinâmica consolidada de produção agropecuária com emprego de tecnologia de irrigação. Nessas regiões o meio físico apresenta um bom potencial de suporte de agricultura irrigada e o planejamento faz-se fundamental para evitar ordenar a ocupação sem criação de futuros cenários de restrição de abastecimento ou esgotamento de recursos hídricos pela agricultura (Sparovek et al.,2014).

Figura 23. Disponibilidade de sinal de internet banda larga 4G nas áreas de expansão (mapa superior) e estoque - reserva técnica (mapa inferior).

Fonte: elaboração própria.

As áreas de manutenção e redirecionamento (mapa superior) estão concentradas na região nordeste (**Figura 24**) e estas são entremeadas por áreas de sinal forte de internet banda larga. Como são regiões em que a agricultura irrigada faz parte da matriz produtiva, porém os recursos hídricos não tem capacidade de suportar uma expansão da atividade, indicando condições prováveis de conflito no uso da água. Esse tipo de situação para gestores públicos é estratégico para intervenção voltadas para o gerenciamento e racionalização do uso da água. Nesse sentido ideal seriam políticas voltadas ao gerenciamento e racionalização do uso da água, como exemplo, cursos de capacitação por meio de ensino a distância (EAD) para melhorar a eficiência dos produtores no uso da água em sistemas de irrigação e melhores práticas conservacionistas, visto que existe muitas áreas com boa conectividade via internet (cerca de 29% da área). Neste mesmo sentido de benefícios de conectividade disponível, o uso de ferramentas ou instrumentos de monitoramento e avaliação para determinada política pública implementada devem priorizar os que possam operar conectados nesses territórios, já enviando dados para um local central e proporcionando informações em tempo real ou somente permitindo que os dados sejam salvos via conexão, sem depender de uma logística para ir buscar o dado armazenado no local de coleta quando essa coleta for automática.

O resultado de processamento da interação dos modelos, no caso das classes territoriais de agricultura irrigada e de disponibilidade de sinal de internet banda larga 4G criou uma nova configuração territorial, ou seja, quatro novas classes territoriais vinculadas ao tema da agricultura irrigada, nas quais em função do atributo de terem conectividade apresentam diferenciais que tem influência direta no olhar e na tomada de decisão em relação à políticas públicas voltadas para a agricultura irrigada. Essas novas classes territoriais são apresentadas na **Tabela 20** e **Figura 25**.

Tabela 20. Chave de classificação territorial resultante da interação dos modelos: potencial da agricultura irrigada.

Chave física	Chave de conectividade banda larga 4G	Nova nomenclatura
Expansão	Sinal forte	1. Expansão conectada
	Sinal fraco ou inexistente	2. Expansão
Estoque (Reserva técnica)	Sinal forte	3. Estoque conectado
	Sinal fraco ou inexistente	4. Estoque
Manutenção e redirecionamento	Sinal forte	5. Manutenção e redirecionamento conectada
	Sinal fraco ou inexistente	6. Manutenção e redirecionamento
Outra estratégia de desenvolvimento	Sinal forte	7. Outra estratégia de desenvolvimento conectada
	Sinal fraco ou inexistente	8. Outra estratégia de desenvolvimento

Fonte: elaboração própria.

Figura 24. Disponibilidade de sinal de internet banda larga 4G nas áreas de manutenção e redirecionamento (mapa superior) e de Interesse elevado de intervenção pública (mapa inferior).

Fonte: elaboração própria.

CLASSE DE EXPANSÃO CONECTADA: → Resultado da combinação de **alta ou média área adicional irrigável; alta ou média área Irrigada; sinal forte de internet banda larga 4G:** condição em que a agricultura irrigada já faz parte da matriz produtiva e o meio físico ainda tem capacidade de suportar uma expansão de áreas irrigadas sem comprometer abastecimento público ou gerar conflitos de uso de recursos hídricos. Por serem regiões de agricultura irrigada já instalada, as áreas mapeadas como classe **EXPANSÃO CONECTADA** tem grande probabilidade de contarem com infraestrutura suficiente e sociedade já adaptada tecnicamente ao cultivo de culturas irrigadas, possuindo ainda conexão de internet banda larga 4G. Nessas regiões as políticas devem se atentar para os benefícios da conectividade e levar em consideração isso na tomada de decisão. Essas áreas tem maior chance de retornarem resultados positivos para a aumento de áreas com agricultura irrigada ou simplesmente em adotar mais facilmente políticas de gestão e uso racional da água.

CLASSE DE ESTOQUE CONECTADO: → Resultado da combinação de **alta área adicional irrigável; baixa área irrigada; sinal forte de internet banda larga 4G:** regiões em que ainda não há agricultura irrigada, mas que esta é importante para o desenvolvimento da agricultura por serem regiões classificadas como de alta ou média “Necessidade de Irrigação”. A Classe ESTOQUE aponta regiões estratégicas para enfoque de médio prazo, situadas em locais que ainda não apresentam uma dinâmica consolidada de produção agropecuária com emprego de tecnologia de irrigação. Nessas regiões o meio físico apresenta um bom potencial de suporte de agricultura irrigada e o planejamento faz-se fundamental para evitar ordenar a ocupação sem criação de futuros cenários de restrição de abastecimento ou esgotamento de recursos hídricos pela agricultura. Nessas regiões as políticas devem se atentar para os benefícios da conectividade e levar em consideração isso na tomada de decisão.

CLASSE DE MANUTENÇÃO & REDIRECIONAMENTO: → Resultado da combinação de **baixa área adicional irrigável; alta área Irrigada; sinal forte de internet banda larga 4G:** Regiões em que a agricultura irrigada faz parte da matriz produtiva, porém os recursos hídricos não tem capacidade de suportar uma expansão da atividade, indicando condições prováveis de conflito no uso da água. Esse tipo de situação é estratégico para intervenção pública no apoio e criação de alternativas à agricultura irrigada, bem como no gerenciamento e racionalização do uso da água. Investimento em obras de infraestrutura como açudes, canais de transposição e perfuração de poços se mostram adequadas nessa configuração. Nessas regiões as políticas devem se atentar para os benefícios da conectividade e levar em consideração isso na tomada de decisão.

CLASSE OUTRAS ESTRATÉGIAS DE DESENVOLVIMENTO: → Resultado da combinação de **baixa/média área adicional irrigável e baixa área Irrigada; sinal forte de internet banda larga 4G:** Regiões em que a agricultura irrigada ainda não faz parte da matriz produtiva e que o desenvolvimento da agricultura não depende essencialmente de irrigação ou é ainda muito incipiente. São áreas para observação e aproveitamento de oportunidades onde essas se mostrarem

interessantes ou viáveis. A principal utilidade da classe é evidenciar espacialmente locais em que o poder público pode concentrar esforços em políticas alternativas à irrigação para o desenvolvimento da agropecuária ou então inserir essas regiões em uma agenda de planejamento de longo prazo. Nessas regiões as políticas devem se atentar para os benefícios da conectividade e levar em consideração isso na tomada de decisão.

Figura 25. Classe territorial de agricultura irrigada conectada.

Fonte: elaboração própria.

De acordo com Sparovek et al. (2014) os componentes envolvidos no desenvolvimento da agricultura irrigada, dispersos em múltiplos aspectos de intervenção pública e sua amplitude temática, podem ser agrupados em categorias principais: (i) componentes físicos relacionados à disponibilidade de água, à qualidade dos solos e aos benefícios com ganhos de produtividade com a irrigação; (ii) componentes sociais relacionados às melhorias do bem estar individual do irrigante e ao coletivo (desenvolvimento de sua região); (iii) componentes econômicos, relacionados ao melhor uso dos recursos disponíveis e sua alocação na forma de investimentos e infraestrutura (conectividade); e (iv) componentes ambientais, ligados às externalidades negativas como os impactos ambientais e usos concorrentes da água; ou positivas, pela redução da área agrícola necessária e menor risco de frustração de safra, e o aumento da abrangência territorial viável para a produção agrícola.

As bases de dados dos modelos são essencialmente quantitativas, como a incorporada nesse trabalho, processando variáveis físicas (p.e. vazão dos rios e evapotranspiração das plantas), dados censitários (p.e. valor da produção da agricultura, renda rural), ou índices derivados de modelos físicos de representação de realidades mais complexas (p.e. topografia, déficit hídrico e atributos do solo convertidos em classes de aptidão agrícola ou sinal de internet). Além do caráter quantitativo, por vezes redefinidos em categorias, também abarcaram a dimensão espacial ao conjunto de dados, nesse caso, processadas na escala de bacia hidrográfica (otobacias nível 12 da Agência Nacional de Águas). A dimensão espacial foi essencial para o relacionamento dos dois temas, bem como para a geração de resultados que permitam a visualização do gestor público, ou seja, sua apresentação em formato de mapas, como os apresentados na **Figura 25**.

Nesta metodologia os modelos trataram de representações simplificadas e agregadas por intermédio de chaves classificatórias. A metodologia desenvolvida foi extremamente dinâmica e adaptável, visto que a agregação de novo tema levou a construção de novos territórios, num contexto para auxiliar a melhor compreensão da realidade, possibilitando testar cenários com o caráter quantitativo e a representação espacial precisa das variáveis.

A metodologia preditiva simplificada (modelos) e sua integração mostraram uma ampla diversidade de componentes e escalas, além de relações não lineares entre elas que resultaram em informações (ou melhor, conhecimento) importantes para a tomada de decisão e definição de políticas e ações que possam desenvolver a agricultura irrigada.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho traz contribuições diretamente relacionadas com o planejamento e a tomada de decisão em políticas públicas voltadas ao desenvolvimento rural e, em especial, à agricultura irrigada no País, que podem vir a proporcionar o salto de produtividade nas áreas agricultáveis do país, consolidando definitivamente o Brasil como grande gerador de alimentos para o mundo.

Os modelos base sobre área irrigável (adicional) desenvolvidos por Sparovek et al. (2014) na análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada puderam ser aprimorados. Um dos principais aprimoramentos foi o aumento do número de culturas considerados, sendo proposto um modelo robusto para auxiliar a tomada de decisão dos gestores públicos a partir de dois cenários, um mais restritivo e outro menos restritivo, proporcionando ao final uma banda de área mínima e máxima de área irrigável (AI). Os resultados mostraram que há entre 68 e 75 Mha de área com potencial para expansão da irrigação, ou seja, é possível decuplicar a área irrigada no Brasil que atualmente é da ordem de 7 Mha.

De forma inovadora, pensando no amplo aspecto de conectividade, o trabalho traz elementos de análise territorial que permitem ao gestor público abordar o tema da agricultura 4.0, na qual a interação de máquina e sensores é altamente explorada, permitindo que muitas etapas e atividades possam ser automatizadas ou que se possa acessar informações rapidamente para a tomada de decisão. Nesse sentido o trabalho trouxe a aplicação de modelos espaciais explícitos sobre a cobertura de sinal de telefonia móvel de banda larga (tecnologia 4G), que atualmente seria a principal forma de viabilizar de maneira ampla a conectividade e acesso à internet no meio rural.

O uso de sinal de internet banda larga poderia auxiliar muito o processo de conectividade (Agro 4.0, internet das coisas) nas áreas irrigadas por pivôs centrais, proporcionando facilidade para a automação dos mesmos e os benefícios desse processo.

A economia de recursos, a rentabilidade e a produtividade agrícola proporcionadas pelo uso adequado de pivôs centrais, que podem ser facilmente alcançadas pela automação de processos e coleta de informações em tempo real para uso desse equipamento, poderiam ser mais abrangentes territorialmente caso o fornecimento de sinal de telefonia banda larga móvel fosse ampliado para mais áreas que adotam o sistema de pivô central.

Com este trabalho ficou demonstrado o grande potencial da ciência de dados na orientação de políticas públicas voltadas à agricultura irrigada através da versatilidade de combinações de uso de ferramentas de análise territorial multicriterial. A metodologia desenvolvida baseada na combinação de variáveis foi capaz de explicitar representações simplificadas e agregadas de diferentes temas, facilitando a interpretação aplicada uma vez que a grande quantidade de componentes envolvidos e escalas de ocorrência trazem muita complexidade para a representação da realidade.

O uso de tecnologia computacional de alta performance nos trabalhos de análise territorial que adotam modelagens complexas em escala nacional são essenciais, visto que os processamentos podem levar semanas para serem concluídos.

A conversão de variáveis sintéticas complexas individualmente a partir de uma macroestrutura de organização, baseada na sua dimensão espacial explícita, tendo a territorialidade como elemento comum a todas essas dimensões e possibilitando seu tratamento conjunto, é uma ferramenta poderosa para a estruturação de elementos fundamentais para o planejamento e tomada de decisão pelos gestores em políticas públicas.

Nesse sentido, é necessário que o aperfeiçoamento de políticas públicas voltadas à infraestrutura esteja alinhado às políticas públicas de promoção da agricultura irrigada, visando atingir metas de desenvolvimento rural sustentável no curto, médio e longo prazos.

O trabalho apresenta uma contribuição e permite combinar as informações geradas com outros estudos que analisaram o potencial de expansão da agricultura irrigada no Brasil e com isso promover o desenvolvimento de ferramentas digitais de análise voltadas para gestores de políticas públicas com foco na agricultura irrigada e uso sustentável da água no meio rural.

REFERÊNCIAS

- ABIMAQ – Associação Brasileira de Indústria de Máquinas e Equipamentos. **CSEI apresenta atualização da área irrigada no Brasil. 2019.** Disponível em: <<http://abimaq.org.br/site.aspx/Abimaq-Informativo-Mensal-Infomaq?DetalheClipping=86&CodigoClipping=1831>>. Acesso em 12 de Junho de 2019.
- ALMEIDA, L. I. DE; FERNANDES, I. F. C.; COSTA, C. M. **Sisci - sistema para controle de irrigação através de dispositivos celulares.** Tese de doutorado - Departamento de informática, Instituto Federal do Rio Grande do Norte. Rio Grande do Norte, 2012. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/holos/article/viewfile/681/517>>. Acesso em: 21 de outubro de 2018.
- ALTOÉ, M. A. C. **Sistema Automatizado de Irrigação para Culturas Específicas.** Centro Universitário de Brasília. 2012. Brasília.
- ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada.** Brasília. 2017, 85p. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrigacao-UsodaAguanaAgriculturaIrigada.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2017.
- ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2013.** Brasília. 2014, 432p. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2013_rel.pdf>. Acesso em: 31 out. 2017.
- ANA & EMBRAPA. **Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil – 2014:** Relatório Síntese. Brasília: ANA, 2016, 33 p.
- ANA & EMBRAPA. **Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil: 2ed. Brasília: ANA, 2019,** 47p. Disponível em: https://www.ana.gov.br/noticias/ana-e-embrapa-identificam-forte-tendencia-de-crescimento-da-agricultura-irrigada-por-pivos-centrais-no-brasil/ana_levantamento-da-agricultura-irrigada-por-pivos-centrais_2019.pdf. Acesso em: 28 jul. 2019.
- ASSUNÇÃO, André Luiz Couto; DOURADO NETO, Durval. **Avaliação da disponibilidade de energia elétrica para expansão da área irrigada no Brasil.** 2018. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-03052018-103142/>>.
- BORGHETTI, J.R.; SILVA, W.L.C.; NOCKO, H.R.; LOYOLA, L.N.; CHIANCA, G.K. **Agricultura irrigada sustentável no Brasil:** identificação de áreas prioritárias. Agência Nacional de Águas – ANA: Brasília, 2017. 243 p.
- BRANDÃO, C. Territórios como classes sociais, conflitos, decisão e poder. In: Ortega, A. C.; Almeida Fo, N. (Org.) **Desenvolvimento territorial:** segurança alimentar e economia solidária. Campinas: Alinea, 2007.
- CARDOSO, O. N. P. **Gestão do conhecimento usando Data Mining:** estudo de caso na UFLA. 2005. 124 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- CHRISTOFIDIS, D. Considerações sobre conflitos e uso sustentável em recursos hídricos. In: THEODORO, S.H. (org.) **Conflitos e uso sustentável dos recursos naturais.** Rio de Janeiro: Ed. Garamond. 2002.

DURSON, M., & OZDEN, S. 2011. **A wireless application of drip irrigation automation supported by soil moisture sensors**. Technical Education Faculty, Gazi University. Turkey. Ankara.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologia da Embrapa é usada para desenvolver sistema automático de irrigação**. Notícias Embrapa, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/33188097/tecnologia-da-embrapa-e-usada-para-desenvolver-sistema-automatico-de-irrigacao>>. Acesso em 22 de novembro de 2018.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **Information System on Water and Agriculture – AQUASTAT**. 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2018.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **Crop information – Soyabean FAOSTAT**. 2001. . Disponível em: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/en/>. Acesso em: 30 abril de 2018.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **Crop information – Sugarcane FAOSTAT**. 2001. Disponível em: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/en/>. Acesso em: 30 abril de 2018.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **Crop information – Maize FAOSTAT**. 2000. Disponível em: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/en/>. Acesso em: 30 abril de 2018.

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture. Managing systems at risk**. New York, 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/017/i1688e/i1688e.pdf>>. Acesso em: 31 de outubro de 2017.

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **The state of food security and nutrition in the world**. 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/ca5162en/ca5162en.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2019.

FERNANDES, A. L. T.; TESTEZLAF, R. Fertirrigação na cultura do melão em ambiente protegido, utilizando-se fertilizantes organo-minerais e químicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 45-50, 2002

FERRAZ, C.A.M; BERBERIAN, C.F.Q; FILHO, N.D; VIEIRA, R.T; NÓBREGA, R.A.A. O uso de geotecnologias como uma nova ferramenta para o controle externo. **Revista do TCU**, n. 133, 2015.

FRIIS, H. T. A note on a simple transmission formula. **Proceedings of the IRE**, v. 34, n. 5, p. 254-256, 1946.

HUFFORD, G. **The ITS Irregular Terrain Model, version 1.2.2 – The Algorithm**. Disponível em: https://www.its.blrdoc.gov/media/50676/itm_alg.pdf. Acesso 01/08/2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2006. In: **Sidra: sistema IBGE de recuperação automática**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=861&z=p&o=2&i=P>>. Acesso em: 11 de março de 2018.

JANUZZI, P. M., Miranda, W. L., & Silva, D. S. G. **Análise multicritério e tomada de decisão em políticas públicas: aspectos metodológicos, aplicativo operacional e aplicações.** Informática Pública, 11(1), 69-87, 2009.

KD2BD. SPLAT!. Disponível em: <https://www.qsl.net/kd2bd/splat.html>. Acesso 01/08/2019

LAMPERT, E.; BINELO, M.O.; CARVALHO, P. **Automação de um pivô de irrigação utilizando smartphone. I Seminário de Pesquisa Científica e Tecnológica - Ciência da Computação** – Universidade de Cruz Alta (UNICRUZ). Cruz Alta, Rio Grande do Sul. 2017. Disponível em: <http://revistaeletronica.unicruz.edu.br/index.php/revistaeletronica/article/view/5398/0>>. Acesso em 11 de julho de 2019.

LONGLEY, P.A.; GOODCHILG, M.F.; MAGUIRE, D.J.; RHIND, D.W. (Ed.). **Sistemas e ciência da informação geográfica.** Tradução de A. Schneider et al. Revisão técnica de H. Hasenack e E.J. Weber. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 540 p.

MADALOSSO, E. **Sistema Automatizado para Irrigação de Estufas.** 76 f. Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

MARIN, F. R. .; PILAU, G. P. .; SPOLADOR, H. F. S. .; OTTO, R. .; PEDREIRA, C. G. S. Intensificação sustentável da agricultura brasileira. **Revista de Política Agrícola**, v. Ano XXV, n. 3, p. 108–124, 2016.

MEDEIROS, P.H.S. **Sistema de irrigação automatizado para plantas caseiras.** Monografia.:Universidade Federal de Ouro Preto. João Monteleivade. 2018. Disponível em: < https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1199/1/MONOGRRAFIA_SistemaIrriga%C3%A7%C3%A3oAutomatizado.pdf>. Acesso em: 10 março de 2019.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **A irrigação no Brasil: situação e diretrizes.** Brasília: IICA, 2008. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/documents/10157/3672008/A+irrigacao+no+Brasil+-+diretrizes.pdf/b88c745b-f5b3-4f3d-b375-483033a2e80c>. Acesso em: 5 setembro de 2015.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Análise Territorial para o Desenvolvimento da Agricultura Irrigada.** Disponível em: <http://www.mi.gov.br/web/guest/publicacoes-senir>. Acesso em: 5 setembro de 2015.

MOLISCH, A. F. **Wireless communications.** 2ed. John Wiley & Sons: Chichester, 2011.

MORAES, M.J.; OLIVEIRA-FILHO, D. MANTOVANI, E.C.; MONTEIRO, P.MPB.; MENDES, A.L.C.; DAMIÃO, J.H.A.C. Automação em sistema de irrigação tipo pivô central para economia de energia elétrica. **Engenharia Agrícola**: Jaboticabal, v.34, n.6, p. 1075-1088, nov./dez. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v34n6/a05v34n6.pdf> Acesso em 28 agosto 2019.

MASSRUHÁ, S.H.F.S.; LEITE, M.A. de A. Agro 4.0 – rumo à agricultura digital. In: MAGNONI JÚNIOR, L.; STEVENS, D.; SILVA, W. T. L. da; VALE, J. M. F. do; PURINI, S. R. de M.; MAGNONI, M. da G. M.; SEBASTIÃO, E.; BRANCO JÚNIOR, G.; ADORNO FILHO, E. F.; FIGUEIREDO, W. dos S.; SEBASTIÃO, I. (Org.). **JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade: mobilizar o conhecimento para alimentar o Brasil.** 2. ed. São Paulo: Centro Paula Souza, 2017. P. 28-35. Disponível em : <http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=1073150>. Acesso em 25 março 2019.

NERY, J.W.L.; De OLIVEIRA, A.M.; MARRA, E.G.; de OLIVEIRA, L.F.C.; ALVES, A.J.; MEDEIROS, A.M.M. **Sistema de Irrigação Microcontrolado: Automação e Otimização do Consumo de Energia Elétrica e Água**. Biblioteca Aneel. 2007. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/biblioteca/citenel2007/pdf/it92.pdf>>. Acesso em 22 de janeiro de 2019.

OKSANEN, T.; OHMAN, M.; MIETTINEN, M.; VISALA, A. Open configurable control system for precision farming. **Automation Technology for OffRoad Equipment**, Proceedings. 2004.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **World population set to grow another 2.2 billion by 2050**: UN survey. 2018. Disponível em: <<https://news.un.org/en/story/2018/10/1023371>>. Acesso em 25 julho de 2019.

PARSONS, J. D. **The Mobile Radio Propagation Channel**. 2ed. John Wiley & Sons: Chichester, 1992.

PARRONCHI, P. Os Pioneiros do desenvolvimento e a Nova Agricultura 4.0: desenvolvimento econômico a partir do campo? Disponível em: <https://sep.org.br/anais/Trabalhos%20para%20o%20site/Comunicacoes/141.pdf>. Acesso em 26 de março de 2019).

SAATH, K.C.O & FACHINELLO, A.L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural** 56: 195-212. 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032018000200195>. Acesso em 07 de dezembro de 2018.

SAYÃO, L.F. **Modelos teóricos em ciência da informação – abstração e método científico**. Revista Ciência da Informação, Brasília, v. 30, n. 1, p. 82-91. 2001.

SILVA, S.P. A abordagem territorial no planejamento de políticas públicas e os desafios para uma nova relação entre Estado e sociedade no Brasil. **Revista Cadernos Gestão Pública e Cidadania**, v. 17, n. 60, 2011.

SILVA, F.S.; CATELLI, F. **Os modelos na ciência: traços da evolução histórico-epistemológica**. Revista Brasileira de Ensino Física, São Paulo, vol. 41, n. 4. 2019.

SILVA, S.P.& BIONDI, A. **Internet em redes de alta velocidade: concepções e fundamentos sobre banda larga**. In **Caminhos para a universalização da Internet banda larga experiências internacionais e desafios brasileiros**. Intevozes Coletivo Brasil de Comunicação Social. São Paulo. 2012. Disponível em: < <http://www.intevozes.org.br/arquivos/interliv008cpunibl.pdf>>. Acesso em 12 de abril de 2019.

SPAROVEK, G.; DOURADO NETO, D.; BARRETTO, A.G.O.P.; MAULE, R.; ASSUNÇÃO, A.L.C. **Análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil**. Brasília: Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura, Ministério da Integração Nacional. 2014. Disponível em: <<http://www.iicabr.iica.org.br/wp-content/uploads/2016/02/FEALQ-An%C3%A1lise->

SPAROVEK, G.; FREITAS, F.L.M.; MAULE, R.F.; PAGANINI, S.M. **Análise territorial e políticas para o desenvolvimento agrário**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário - NEAD estudos. 2013. Disponível em: http://www.reformaagrariaemdados.org.br/sites/default/files/pageflip-4204229-487363-lt_Analise_territorial_e_-5306656.pdf.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Faculda de Engenharia Agrícola - Unicamp, 2017. 213p.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: técnicas, usos e impactos**. Faculdade de Engenharia Agrícola - Unicamp, 2014.

TILMAN, D.; BALZER, C.; HILL, J.; BEFORT, B. L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 50, p. 20260–20264, 2011. Disponível em: <<http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1116437108>>.

VAN ITTERSUM, M. K.; CASSMAN, K. G.; GRASSINI, P.; WOLF, J.; TITTONELL, P.; HOCHMAN, Z. Yield gap analysis with local to global relevance-A review. **Field Crops Research**, v. 143, p. 4–17, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.009>>.

ZHANG, Z. **Investigation of wireless sensor networks for precision agriculture**. ASAE Annual International Meeting. p. 041154. 2004.