

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES PARA A EXPANSÃO DO CULTIVO
DE TRIGO SEQUEIRO NO BIOMA CERRADO DO BRASIL CENTRAL

Aldemir Pasinato
Bacharel em Ciência da Computação/UPF

Dissertação apresentada como um dos requisitos
à obtenção do Grau de Mestre em Fitotecnia
Área de Concentração Sistemas de Produção Vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil
Maio de 2017

CIP - Catalogação na Publicação

Pasinato, Aldemir

Potencialidades e limitações para a expansão do cultivo de trigo sequeiro no bioma Cerrado do Brasil Central / Aldemir Pasinato. -- 2017.
141 f.

Orientador: Denise Cybis Fontana.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2017.

1. Triticum aestivum. 2. Trigo tropical. 3. Zoneamento agrícola. 4. Risco climático. 5. Gestão territorial. I. Fontana, Denise Cybis, orient. II. Título.

ALDEMIR PASINATO
Bacharel em Ciência da Computação - UPF

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

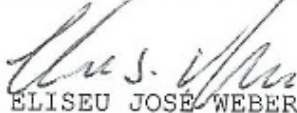
MESTRE EM FITOTECNIA

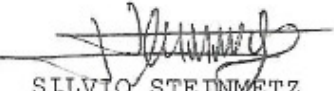
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 25.05.2017
Pela Banca Examinadora


DENISE CYBIS FONTANA
Orientadora - PPG Fitotecnia


HOMERO BERGAMASCHI
PPG Fitotecnia/UPRGS


ELISEU JOSÉ WEBER
ULBRA


SILVIO STEINMETZ
EMBRAPA Clima Temperado
Pelotas/RS


GILBERTO ROCCA DA CUNHA
EMBRAPA Trigo
Passo Fundo/RS

Homologado em: 25 JUL 2017
Por


CHRISTIAN BREDEMEIER
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia


CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de
Agronomia

DEDICATÓRIA

À minha esposa **Débora**, pela paciência, amor e compreensão em todos os momentos, principalmente nos de incerteza, muito comuns para quem tenta trilhar novos caminhos.

Às minhas filhas **Larissa e Laura**, pelo grande amor que sinto por elas e pelas horas de distância e ausência em que não pude lhes dar a atenção merecida.

Sem vocês nenhuma conquista valeria a pena.

Obrigado!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a DEUS, que todos os dias de minha vida me deu forças para nunca desistir, aos meus pais que sempre primaram pela Educação.

À minha família, pelo incentivo, compreensão e apoio durante este período, em especial à minha esposa Débora e às minhas filhas, Larissa e Laura, obrigado, por entenderem e aceitarem minha ausência por um longo período, sempre com amor, carinho e um abraço bem apertado em meus retornos. À minha sogra Terezinha e cunhada Carla, que auxiliaram nos cuidados com minhas filhas neste período e, à minha irmã Nilve, que me acolheu em sua casa nos primeiros dias como mestrando.

À professora Denise Cybis Fontana, obrigado pela oportunidade, orientação e confiança, pelo apoio, colaboração, dedicando especial atenção nas revisões e sugestões que foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Ao Dr. Gilberto Rocca da Cunha (conselheiro acadêmico), obrigado pelo incentivo para a realização deste curso, pelo apoio e colaboração no desenvolvimento das atividades de pesquisa e conhecimentos compartilhados.

A todos os colegas que fizeram parte desta caminhada, em especial aos amigos André Luis Vian, Elizandro Fochesatto, João Vanin, Moacir Tuzzin e Daniele Gutterres, pela amizade e ajuda recíproca.

Aos professores do setor de Agrometeorologia, Homero Bergamaschi e Ricardo Wanke de Melo, pelos ensinamentos técnicos e pela convivência diária.

À Embrapa, por estimular e permitir a realização desse aperfeiçoamento com dedicação integral ao estudo.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela oportunidade de realização do curso de Mestrado. E aos membros da banca examinadora da defesa de dissertação, Dr. Silvio Steinmetz, Prof. Dr. Eliseu José Weber, Prof. Dr. Homero Bergamaschi e Dr. Gilberto Rocca da Cunha, pelas contribuições dadas para a melhoria deste trabalho.

A todos os colegas da Embrapa Trigo, que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho, pelo apoio e incentivo.

E, por fim, a todos que contribuíram de forma particular e especial, sou grato por cada gesto carinhoso, por cada palavra de apoio e incentivo, nos momentos mais difíceis, sempre me fazendo acreditar que chegaria ao final desta gratificante etapa de minha vida.

Muito obrigado!

POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES PARA A EXPANSÃO DO CULTIVO DE TRIGO SEQUEIRO NO BIOMA CERRADO DO BRASIL CENTRAL¹

Autor: Aldemir Pasinato

Orientadora: Denise Cybis Fontana

RESUMO

No Brasil, o cultivo de trigo estende-se desde a Região Sul (principal zona de produção) até a região Central (biomas Cerrado e Mata Atlântica), na qual há potencial para expansão do cultivo, principalmente no bioma Cerrado e em regime sequeiro. No entanto, há a necessidade de estudos que permitam a delimitação de áreas com potencial de expansão do cultivo desse cereal, visando ao desenvolvimento de práticas de manejo (épocas de semeadura) e escolha de cultivares mais adaptadas ao ambiente tropical. O objetivo deste estudo foi localizar e quantificar, por meio de geotecnologias, áreas atualmente usadas em agricultura anual no bioma Cerrado do Brasil Central, que possuem aptidão favorável para o cultivo de trigo no regime sequeiro. Para isso, foram realizados cruzamentos de planos de informação: i) mapa de uso e cobertura das terras do bioma Cerrado na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4) classificadas projeto Terraclass Cerrado; ii) o modelo digital de elevação *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), estratificado por faixas de altitude e iii) mapas de Índice de Satisfação de Necessidades de Água (ISNA) gerados pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para trigo sequeiro no Brasil - safra 2016/2017. Foram considerados níveis de impacto de estresse hídrico (baixo, moderado e elevado), níveis de risco de insucesso por deficiência hídrica (20%, 30% e 40%), tipos de solo (capacidade de armazenamento de água disponível - CAD 35 mm, 55 mm e 75 mm), grupo de cultivares (ciclos de 105 dias, 115 dias e 125 dias) e períodos de semeadura espaçados de 10 dias, entre fevereiro e março. Os resultados mostraram maior disponibilidade de área favorável para o cultivo de trigo sequeiro em semeaduras realizadas no primeiro decêndio de fevereiro. Quando comparados os grupos de cultivares, o Grupo I (105 dias) foi o que apresentou a maior área favorável. Em relação à altitude, 40% (4,5 milhões de ha) das áreas agrícolas do bioma Cerrado na RHACT 4 estão localizadas acima de 800 m, sendo que, na melhor combinação (semeadura em 5 de fevereiro, CAD 75 mm, ciclo de 105 dias, nível de risco de 20% e impacto por deficiência hídrica baixo e moderado), resultam 2,7 milhões de hectares classificadas como favoráveis.

¹ Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (141f.) maio, 2017.

POTENTIALITIES AND LIMITATIONS FOR THE EXPANSION OF NON-IRRIGATED WHEAT CROP IN THE CERRADO BIOME OF CENTRAL BRAZIL¹

Author: Aldemir Pasinato

Academic adviser: Denise Cybis Fontana

ABSTRACT

In Brazil, wheat crop extends from the South (the main production area) until the Central region (Cerrado and Mata Atlântica biomes), in which there is potential for crop expansion, mainly in the Cerrado and under non-irrigated land. However, more detailed studies are needed to allow the delimitation of environments with potential for cultivation of this cereal, aiming at the development of management practices (sowing dates) and choice of better adapted cultivars to biotic or abiotic regional stresses. In this context, the objectives of this study were to locate and to quantify, through geotechnologies, areas currently used in annual agriculture, in the Cerrado region of Brazil, which have favourable fitness for wheat cultivation in drylands. For this purpose, crossings of information shapes were made relating to: i) usage and coverage map of the Cerrado biome in the Homogeneous Region of Adaptation of Wheat Cultivars 4 (HRAWC 4) by project Terraclass Cerrado; II) digital elevation model for altitude of *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), and iii) maps of water requirement satisfaction index (WRSI) generated by the Agricultural Zoning of Climatic Risk (AZRC) for non-irrigated wheat in Brazil - crop season 2016/2017. We considered three impact levels of water stress (low, moderate, and high), distinct risk levels of failure by water deficiency (20%, 30%, and 40%), three types of soil (35 mm, 55 mm, and 75 mm of available soil water capacity - ASWC), three maturity group of cultivars with cycles of 105 days, 115 days, and 125 days, and sowing dates spaced in 10 days between February and March. The results showed increased availability of favorable area for the cultivation of non-irrigated wheat with sowing dates during the first ten days of February. When comparing the cultivars groups, the Group I (105 days) had the highest favorable. In terms of altitude, 40% (4.5 million hectares) of annual agriculture areas of Cerrado biome in RHACT 4 are located above 800 m level. In that area, the best levels of crop conditions (sowing in February 5th, ASWC 75 mm, cultivars with cycles of 105 days, 20% risk level, and impact of water deficiency classified as low and moderate), 2.7 million hectares can be classified as favorable.

¹ Master of Science dissertation in Plant Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (141p.) May, 2017.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 Cultura do trigo no mundo e no Brasil.....	6
2.2 Regiões homogêneas de adaptação de cultivares de trigo.....	9
2.3 Zoneamento agrícola no Brasil	13
2.3.1 Histórico	13
2.3.2 Critérios para delimitação de áreas favoráveis para cultivo de trigo sequeiro no Brasil	18
2.4 Uso de geotecnologias.....	22
2.4.1 Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na integração de informações.....	25
3 MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1 Área de estudo.....	28
3.2 Caracterização climática do bioma Cerrado	29
3.3 Bases de dados utilizadas	33
3.3.1 Mapa de Uso e Cobertura das Terras do Bioma Cerrado.....	33
3.3.2 Modelo Digital de Elevação (MDE)	35
3.3.3 Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para trigo sequeiro no Brasil	36
3.4 Definições das áreas com potencial para expansão do cultivo de trigo sequeiro no bioma Cerrado	40
3.4.1 Plano de informação área do bioma	41
3.4.2 Plano de informação agricultura anual.....	41
3.4.3 Plano de informação agricultura anual estratificada por altitude.....	41
3.4.4 Plano de informação áreas favoráveis segundo o ZARC trigo sequeiro 2016/2017	42
3.4.5 Álgebra de mapas	44
3.5 Definição dos níveis de impacto	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1 Resultados	46
4.1.1 Representatividade do bioma Cerrado na RHACT 4	46

	Página
4.1.2 Percentual de áreas com agricultura anual na RHACT 4 e por unidade da federação	47
4.1.3 Percentual de área com agricultura anual estratificada por faixas de altitude e por unidade da federação	48
4.1.4 Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) na RHACT 4.....	50
4.1.5 Cruzamento dos planos de informação (PIs) do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para trigo sequeiro no bioma Cerrado com áreas de agricultura anual	64
4.1.6 Cruzamento dos planos de informação (PIs) do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para trigo sequeiro no bioma Cerrado com áreas de agricultura anual e faixas de altitudes	69
4.2 Discussão	82
5 CONCLUSÕES	91
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
7 APÊNDICES	101

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Trigo na região tropical, duração do ciclo da cultura e das etapas fenológicas emergência-espigamento e espigamento-maturação fisiológica. Fonte: BRASIL (2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2016e).	20
2. Trigo na região temperada, duração do ciclo da cultura e das etapas fenológicas emergência - espigamento e espigamento-maturação fisiológica. Fonte: BRASIL (2016f, 2016g, 2016h, 2016i).	20
3. Trigo tropical, duração do ciclo e das etapas fenológicas. ZARC Trigo sequeiro 2016/17. Fonte: adaptada de BRASIL (2016).	37
4. Coeficientes de cultura (Kc) da cultura de trigo tropical. ZARC Trigo sequeiro 2016/2017. Fonte: adaptada de: (Guerra <i>et al.</i> , 2003; Allen <i>et al.</i> , 1998).	38
5. Distribuição da área do bioma Cerrado na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4) em relação à área total de cada unidade da federação Fonte: adaptada de (IBGE, 2017).	46
6. Área disponível para uso em agricultura anual (1.000 ha e percentual) por faixa de altitude na região do bioma Cerrado e RHACT 4.	49
7. Área disponível para uso em agricultura anual (1.000 ha e percentual) por unidade da federação e por faixa de altitude na região do bioma Cerrado e RHACT 4. Fonte: adaptada de IBGE (2004); BRASIL (2015). ..	50
8. Área disponível (em 1.000 ha) para cultivares de trigo sequeiro dos grupos I, II e III, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40% e níveis de impacto por deficiência hídrica baixo e moderado, para solos com capacidade de armazenamento de água disponível de 75 mm (CAD 75 mm), em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 de fevereiro e 5, 15 e 25 de março.	53
9. Área disponível (em 1.000 ha) para cultivares de trigo sequeiro dos grupos I, II e III, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40% e níveis de impacto por deficiência hídrica baixo e moderado, para solos Tipo 2, com capacidade de armazenamento de	

água disponível de 55 mm (CAD 55 mm), em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março.	57
10. Área disponível (em 1.000 ha) para cultivares de trigo sequeiro dos grupos I, II e III, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40% e níveis de impacto por deficiência hídrica baixo e moderado, para solos Tipo 1, com capacidade de armazenamento de água disponível de 35 mm (CAD 35 mm), em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março.	59
11. Área disponível (em 1.000 ha) para cultivares de trigo sequeiro dos grupos I, II e III, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40%, e níveis de impacto por deficiência hídrica baixo e moderado, para solos Tipo 3 com capacidade de armazenamento de água disponível de 75 mm , em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março, considerando o cruzamento dos planos de informação do ZARC trigo sequeiro 2016/2017 com as áreas classificadas como em uso por agricultura anual	65
12. Área disponível (em 1.000 ha) para cultivares de trigo sequeiro dos grupos I, II e III, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40%, e níveis de impacto por deficiência hídrica baixo e moderado, para solos Tipo 2 com capacidade de armazenamento de água disponível de 55 mm , em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março, considerando o cruzamento dos planos de informação do ZARC trigo sequeiro 2016/2017 com as áreas classificadas como em uso por agricultura anual	67
13. Área disponível (em 1.000 ha) para cultivares de trigo sequeiro dos grupos I, II e III, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40%, e níveis de impacto por deficiência hídrica baixo e moderado, para solos Tipo 1 com capacidade de armazenamento de água disponível de 35 mm , em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março, considerando o cruzamento dos planos de informação do ZARC trigo sequeiro 2016/2017 com as áreas classificadas como em uso por agricultura anual	68
14. Área disponível (em 1.000 ha) para cultivares de trigo sequeiro dos grupos I, II e III, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40%, e níveis de impacto por deficiência hídrica baixo e moderado, para solos Tipo 3 com capacidade de armazenamento de água disponível de 75 mm , em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março, considerando o cruzamento dos planos de informação do ZARC trigo sequeiro 2016/2017 com as áreas classificadas como em uso por agricultura anual e faixa de altitude acima de 800 m	71

15. Área disponível (em 1.000 ha) para cultivares de trigo sequeiro dos grupos I, II e III, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40%, e níveis de impacto por deficiência hídrica baixo e moderado, para solos Tipo 3 com capacidade de armazenamento de água disponível de **75 mm**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março, considerando o cruzamento dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 com as áreas classificadas como em uso por **agricultura anual** e faixa de altitude entre **600 e 800 m**. 73
16. Área disponível (em 1.000 ha) para cultivares de trigo sequeiro dos grupos I, II e III, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40%, e níveis de impacto por deficiência hídrica baixo e moderado, para solos Tipo 2 com capacidade de armazenamento de água disponível de **55 mm**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março, considerando o cruzamento dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/17 com as áreas classificadas como em uso por **agricultura anual** e faixa de altitude entre **600 e 800 m**. 74
17. Área disponível (em 1.000 ha) para cultivares de trigo sequeiro dos grupos I, II e III, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40%, e níveis de impacto por deficiência hídrica baixo e moderado, para solos Tipo 3 com capacidade de armazenamento de água disponível de **75 mm**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março, considerando o cruzamento dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 com as áreas classificadas como em uso por **agricultura anual** e faixa de altitude entre **400 e 600 m**. 76

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Regiões homogêneas de adaptação de cultivares de trigo (RHACT) no Brasil. Fonte: Cunha <i>et al.</i> (2006), BRASIL (2008b).	12
2. Distribuição das 3.500 estações pluviométricas e climatológicas no Brasil usadas no ZARC trigo sequeiro 2016/17. Fonte: Embrapa Informática Agropecuária (2016).	20
3. Esquema gráfico de cruzamento espacial no Sistema de Informações Geográficas (SIG). Fonte: Machado <i>et al.</i> (2007).	27
4. Mapa de localização da área de estudo no território brasileiro. Fonte: adaptada de IBGE (2004).	28
5. Totais médios mensais de precipitação pluvial, temperatura média das máximas (Tx) e temperatura média das mínimas (Tn) mensal do ar (1961-1990) nas estações meteorológicas de Poxoréo, Brasília, Barreiras, Goiás, Januária, Jataí, Ponta Porã e Araxá. Fonte: adaptada de INMET (2009).	30
6. Classificação climática do bioma Cerrado. Fonte: adaptada de Álvares <i>et al.</i> (2013).	33
7. Distribuição das áreas de agricultura anual na área de estudo no bioma Cerrado. Fonte: adaptada de BRASIL (2015).	34
8. Distribuição de áreas segundo o Modelo Digital de Elevação e percentual por faixa de altitude na região de estudo. Fonte: adaptada de USGS (2016).	35
9. Esquema de cruzamento dos planos de informação do Modelo Digital de Elevação (MDE) estratificado por altitude de 400 - 600 m, 600 - 800 m e acima de 800 m com o plano de informação de agricultura anual e estratificação por unidade da federação.....	42
10. Parâmetros utilizados para delimitação e mensuração de áreas favoráveis para o cultivo de trigo sequeiro pelo ZARC Trigo sequeiro 2016/2017.	42
11. Esquema do recorte da área de estudo e reclassificação dos níveis de impacto gerados pelo ZARC trigo sequeiro 2016/2017.	43
12. Exemplo do cruzamento do plano de informação agricultura anual do	

	Página
projeto TerraClass Cerrado com os planos de informação áreas favoráveis segundo o ZARC Trigo sequeiro 2016/2017. Fonte: adaptada de BRASIL (2015 e 2016).	44
13. Exemplo do cruzamento dos planos de informação agricultura anual com planos de informação áreas favoráveis segundo o ZARC Trigo sequeiro 2016/2017 e planos de informação estratificados por altitude. Fonte: adaptada de BRASIL (2015 e 2016) e USGS (2016).	45
14. Localização e percentual de área (em 1.000 ha) com agricultura anual no bioma Cerrado, em cada unidade da federação, que faz parte da RHACT 4 Fonte: adaptada de Brasil (2015).	48
15. Regionalização de níveis de impacto por deficiência hídrica (baixo, moderado e elevado) para cultivares de trigo do Grupo I (A, B e C), Grupo II (D, E e F) e Grupo III (G, H e I), na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), no bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20% (A, D e G), 30% (B, E e H) e 40% (C, F e I), solos Tipo 3 - CAD 75 mm e período de semeadura 5 de fevereiro (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).	55
16. Regionalização de níveis de impacto por deficiência hídrica (baixo, moderado e elevado) para cultivares de trigo do Grupo I (A, B e C), Grupo II (D, E e F) e Grupo III (G, H e I), na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), no bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20% (A, D e G), 30% (B, E e H) e 40% (C, F e I), solos Tipo 2 - CAD 55 mm e período de semeadura 5 de fevereiro (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).	58
17. Regionalização de níveis de impacto por deficiência hídrica (baixo, moderado e elevado) para cultivares de trigo Grupo I , na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), no bioma Cerrado, considerando nível de risco de 40%, solo Tipo 3 - CAD 75 mm (A e B), solo Tipo 2 - CAD 55 mm (C e D) e solo Tipo 1 - CAD 35 mm (E e F), períodos de semeadura 5 de fevereiro (A, C e E) e 25 de março (B, D e F) (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).	61
18. Regionalização de níveis de impacto por deficiência hídrica (baixo, moderado e elevado) para cultivares de trigo Grupo II , na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), no bioma Cerrado, considerando nível de risco de 40%, solo Tipo 3 - CAD 75 mm (A e B), solo Tipo 2 - CAD 55 mm (C e D) e solo Tipo 1 - CAD 35 mm (E e F), períodos de semeadura 5 de fevereiro (A, C e E) e 25 de março (B, D e F) (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).	62
19. Regionalização de níveis de impacto por deficiência hídrica (baixo, moderado e elevado) para cultivares de trigo Grupo III , na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), no bioma Cerrado, considerando nível de risco de 40%, solo Tipo 3 - CAD 75 mm (A e B), solo Tipo 2 - CAD 55 mm (C e D) e solo Tipo 1 - CAD 35 mm (E e F),	

	Página
períodos de semeadura 5 de fevereiro (A, C e E) e 25 de março (B, D e F) (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).	63
20. Distribuição espacial das áreas favoráveis para cultivares de trigo sequeiro, Grupo I (A, D, G, J), Grupo II (B, E, H, K) e Grupo III (C, F, I, L), considerando os níveis de impacto por restrição hídrica baixo, moderado e elevado, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, solos Tipo 3 com capacidade de armazenamento de água disponível de 75 mm , nível de risco de 40% , considerando o cruzamento dos planos de informação do ZARC trigo sequeiro 2016/2017 com a agricultura anual (A, B e C)) e deste cruzamento com a faixa de altitude acima de 800 m (D, E e F), entre 600 e 800 m (G, H e I) e entre 400 e 600 m (J, K, L) para semeadura em 5 de fevereiro. Fonte: adaptada de BRASIL (2015 e 2016) e USGS (2016).	80
21. Distribuição espacial das áreas favoráveis para cultivares de trigo sequeiro, Grupo I (A, D, G, J), Grupo II (B, E, H, K) e Grupo III (C, F, I, L), considerando os níveis de impacto por restrição hídrica baixo, moderado e elevado, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, solos Tipo 3 com capacidade de armazenamento de água disponível de 75 mm , nível de risco de 20% , considerando o cruzamento dos planos de informação do ZARC trigo sequeiro 2016/2017 com a agricultura anual (A, B e C)) e deste cruzamento com a faixa de altitude acima de 800 m (D, E e F), entre 600 e 800 m (G, H e I) e entre 400 e 600 m (J, K, L) para semeadura em 5 de fevereiro. Fonte: adaptada de BRASIL (2015 e 2016) e USGS (2016).	81
22. Distribuição espacial da precipitação acumulada na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, no quadrimestre mais chuvoso (novembro-fevereiro) (A) e quadrimestre mais seco (maio-agosto) (B). Fonte: adaptada de WORDCLIM (2016).	83
23. Distribuição espacial da temperatura máxima decendial do ar na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado. Fonte: adaptada de WORDCLIM (2016).	87

1 INTRODUÇÃO

O trigo é uma cultura importante na composição de sistemas de produção agrícola sustentáveis em várias regiões do mundo. Destaca-se como excelente alternativa para a sucessão e rotação de culturas em sistemas agrícolas produtivos, especialmente por ser uma das principais espécies usadas na alimentação humana.

Produzir trigo no Brasil, de forma competitiva e sustentável, tem sido um dos principais desafios da atividade agrícola, pois, tanto o rendimento de grãos quanto a qualidade tecnológica são influenciados pelas condições de ambiente, especialmente pelo clima. No Brasil, esse cereal é cultivado em uma ampla região, abrangendo zonas temperadas, subtropicais e tropicais. Atualmente, o cultivo de trigo se estende desde o Brasil Central (especialmente no bioma Cerrado, mas também com incursões no bioma Mata Atlântica) até o extremo sul do País (biomas Pampa e Mata Atlântica). No Sul, região com predomínio das variedades de clima temperado e subtropical, é onde, tradicionalmente, ocorre o cultivo de trigo no Brasil.

A região tropical do Brasil (principalmente no bioma Cerrado), apesar de ainda ser considerada área não tradicional de cultivo de trigo, possui, pela experiência acumulada em pesquisa e produção, desde os anos 1980, potencial para expansão de cultivo desse cereal. Nesta região, todavia, há necessidade de refinamento da delimitação de ambientes com potencial de cultivo de trigo, bem

como investimento em melhoramento genético vegetal, com vistas à criação de cultivares com melhor desempenho nesses tipos de ambiente (tolerância à seca e ao calor e resistência à brusone, especialmente). Também, há necessidade de mais resultados de pesquisa, gerados localmente, sobre o manejo de cultivo (época de semeadura e manejo de água) que possibilitem a obtenção de melhor exploração da interação genótipo x ambiente e que, pela possibilidade de se contornar os efeitos adversos, especialmente dos estresses térmico, hídrico e fitossanitário (brusone), possa ser otimizado o aproveitamento dos recursos do ambiente.

A expansão do cultivo do trigo no Brasil, para áreas além da zona temperada, visa à busca de alternativas de produção desse cereal, com ênfase tanto no abastecimento do mercado interno, a partir do aumento da produção nacional, quanto criar excedentes para exportação. Como vantagens do Brasil Central, podem ser citadas: a proximidade em relação ao principal centro consumidor de trigo no País (Região Sudeste); a disponibilidade de vastas áreas ora em uso com agricultura anual e a possibilidade de encaixe temporal (estação de crescimento) com as demais culturas utilizadas nos sistemas locais de produção, principalmente em cultivo de sequeiro; a aptidão regional para a produção de trigo com qualidade tecnológica apropriada para o produto de maior consumo no Brasil (trigo da classe pão); e a possibilidade de melhor remuneração ao tricultor em função da época de colheita que ocorre antes das regiões tradicionais de produção do sul do País.

O cultivo do trigo na região central do Brasil (biomas Cerrado e Mata Atlântica), entretanto, tem encontrado entraves para a expansão de área cultivada pela ocorrência de estresses bióticos e abióticos, que limitam o potencial produtivo e a estabilidade do rendimento ao longo dos anos. O principal estresse

de origem biótica no cultivo de sequeiro decorre da estação de crescimento coincidir com o período mais propício para a ocorrência de doenças, com especial destaque para a brusone. Esta doença, causada pelo fungo *Pyricularia oryzae*, é de difícil controle e pode, inclusive, em alguns anos epidêmicos, inviabilizar totalmente a produção.

Quanto aos estresses abióticos, sobressaem-se o hídrico e o térmico. Por exemplo, o estresse por temperaturas elevadas pode limitar a expansão do trigo na zona tropical, uma vez que o aumento da temperatura acima de um valor crítico, por longos períodos de tempo, dependendo do estágio de desenvolvimento da cultura, pode causar danos irreversíveis à planta, comprometendo a formação e o enchimento dos grãos. Destaca-se que a exposição da cultura a condições de temperaturas elevadas pode ocorrer, principalmente, em locais de menor altitude.

Quanto ao estresse hídrico, a deficiência de água pode se constituir num dos fatores de risco à cultura do trigo nesta região. A necessidade de concentrar a semeadura em épocas nas quais o espigamento/florescimento (estádios mais suscetíveis à brusone) coincida com o período de menor precipitação pluvial (fator condicionante para a não ocorrência da doença), indiscutivelmente, predispõe a cultura a esse tipo de risco. Assim, para reduzir o risco da ocorrência da brusone, aumenta-se o risco de perdas por deficiência hídrica. Para equacionar essa questão, enquanto não resolvido o problema da brusone (controle químico ou genético), é fundamental a identificação de áreas e épocas de semeadura que, pelo menos, não exponham a cultura a riscos por efeitos adversos associados aos fatores abióticos.

Na região tropical do Brasil, existe ainda a possibilidade de cultivo de trigo irrigado, ora em uso, sendo, nesse caso, as limitações hídricas contornadas pelo

uso de irrigação, e limitações térmicas e as impostas pela brusone, minimizadas pelo cultivo em uma estação de crescimento, que abrange o outono e o inverno sob condições ambientais amenas. Entretanto, o potencial de expansão do trigo irrigado é pequeno, pois tem como desvantagem a competição em relação a lucros obtidos com outras culturas com possibilidade de serem mais rentáveis economicamente no ano agrícola, como o feijão, milho semente, café e hortaliças como a batata, alho e cebola. Nesse sistema, o trigo aparece como uma alternativa importante para a rotação de culturas, quebrando ciclos de doenças e pragas e, com isso, auxiliando na sustentabilidade de outras culturas de maior importância econômica, justificando a sua permanência nesses sistemas desde os anos 1980.

A importância da cultura do trigo no Brasil e a possibilidade de expansão da área de cultivo desse cereal para regiões não tradicionais justifica a necessidade de estudos que possam, a partir de um diagnóstico territorial, viabilizar uma melhor gestão dos riscos de produção e auxiliar na formulação de políticas públicas aplicadas no desenvolvimento da agricultura brasileira.

Nesse sentido, trabalhos como o Zoneamento Agrícola de Risco Climático para cultura do trigo no Brasil, que, sob responsabilidade do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), desde 1996, vem sendo adotado como instrumento de política pública na área de crédito e seguridade rural, são ferramentas técnico-científicas poderosas para auxiliar a gestão de riscos climáticos em agricultura. Esses estudos buscam identificar e mapear as áreas favoráveis, pela minimização de riscos, à cultura do trigo nos mais diversos ambientes climáticos do Brasil, como é o caso do bioma Cerrado.

Acrescente-se que, estudos sobre o uso e cobertura da terra por meio de produtos de sensoriamento remoto, como imagens de satélite, permitem o

mapeamento de grandes áreas, e, com isso, viabilizando a obtenção de informações importantes, relativas à área ocupada por determinada cultura, o estágio de desenvolvimento das plantas e, dependendo da aplicação, até mesmo possibilitando estimativas de rendimento das lavouras, dentre outras. O uso dessas ferramentas permite, também, a detecção de mudanças ocorridas nos ambientes (antrópicos ou naturais), em curtos espaços de tempo, a partir da cobertura repetitiva da superfície terrestre pelas imagens de satélite.

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo geral localizar e quantificar, por meio de geotecnologias, áreas atualmente usadas em agricultura anual no bioma Cerrado do Brasil Central, que possuem aptidão favorável para o cultivo de trigo no regime sequeiro. E como objetivos específicos:

- 1) Mapear os ambientes homogêneos quanto ao risco de insucesso, considerando diferentes níveis de impacto de estresse hídrico;
- 2) Localizar, nas áreas atualmente em uso com agricultura anual, os ambientes homogêneos quanto ao risco de insucesso; e
- 3) Quantificar, considerando as restrições quanto ao risco de insucesso, as áreas com aptidão favorável para o cultivo de trigo sequeiro, que ora estão em uso por agricultura anual e por faixas de altitude.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultura do trigo no mundo e no Brasil

O trigo, junto com o arroz e o milho, integra o grupo dos cereais mais produzidos no mundo. É uma das principais culturas usadas na alimentação humana e animal, ocupa aproximadamente 17% da área que é atualmente cultivada no mundo e representa cerca de 30% da produção mundial de grãos (De Mori, 2015; USDA, 2016).

A maior parte do trigo produzido no mundo é colhida no Hemisfério Norte, em especial nos continentes europeu e asiático, que concentram, respectivamente, 31,8% e 44,7% da produção global deste cereal. Nas últimas safras (2012/2013 a 2016/2017), a produção mundial média de trigo foi de aproximadamente 717 milhões de toneladas. No entanto, para a safra 2016/2017, são estimadas em torno de 751,4 milhões de toneladas. Os maiores produtores de trigo (em milhões de toneladas - Mt) são os países que integram a União Europeia (144,07Mt), a China (128,9 Mt), a Índia (87,0 Mt), a Rússia (72,5 Mt) e os Estados Unidos da América (62,9 Mt), conforme levantamento do *Foreign Agricultural Service/USDA* em dezembro de 2016 (USDA, 2016).

A área cultivada com trigo no mundo, nos últimos cinco anos (2012/2013 a 2016/2017), foi de aproximadamente de 220,8 milhões de hectares. Para a safra 2016/2017, a área para cultivo desse cereal foi estimada em 222 milhões de hectares, demonstrando certa tendência de estabilização. Individualmente, os

principais países/blocos com maior área cultivada na safra 2016/2017 são a Índia (30,2 milhões de ha), a União Europeia (27,1 milhões de ha), a China (24,2 milhões de ha), a Rússia (27,0 milhões de ha) e os Estados Unidos (17,8 milhões de ha) (USDA, 2016).

Nos últimos anos, portanto, devido à aparente estabilização na área de cultivo, o incremento observado na produção pode ser atribuído ao aumento do rendimento médio de grãos, que passou de 2.670 kg ha⁻¹, em 2002/2003, para 3.390 kg ha⁻¹, na safra 2016/2017 (USDA, 2016).

O consumo médio anual de trigo no mundo, nestes últimos cinco anos (2012 a 2016), foi de aproximadamente 704 Mt. Entre os maiores consumidores mundiais de trigo, destacam-se: a União Europeia (129,0 Mt), a China (117,0 Mt) e a Índia (96,0 Mt), correspondendo respectivamente a 17,6%, 15,9% e 13%, do total de trigo consumido no período de (2012 a 2016) (USDA, 2016).

O Brasil, nesse contexto, ocupa a 17^a posição entre os países produtores de trigo no mundo. Na safra 2016/2017, no território brasileiro, foram cultivadas aproximadamente 2,1 milhões de hectares, alcançando a produção de 6,7 Mt e rendimento médio de grãos de 3.175 kg ha⁻¹, frente ao consumo de 10,8 Mt (IBGE, 2017; CONAB, 2017). Quando se analisa os rendimentos médios do Brasil na safra 2016/2017, constata-se que o País atingiu 94% do rendimento médio que tem sido obtido no mundo, que, na referida safra, foi de 3,390 kg ha⁻¹ (CONAB, 2017). Não obstante esse rendimento relativamente elevado e competitivo, frente aos outros países produtores, o Brasil integra, junto com o Egito, a Argélia, Japão, União Europeia e a Indonésia, o grupo dos maiores importadores mundiais de trigo, tendo, na safra 2016/2017, importado cerca de 6,1 milhões de toneladas (CONAB, 2017).

O Rio Grande do Sul e o Paraná, dois estados da Região Sul, concentram a maior parte da produção brasileira de trigo, sendo responsáveis, na safra 2016/2017, por cerca de 90% da produção desse cereal no País, com rendimento médio de 3.177 kg ha⁻¹.

Os maiores rendimentos médios, no entanto, têm sido obtidos na Região Centro-Oeste: 6.000 kg ha⁻¹, no Distrito Federal, e 5.182 kg ha⁻¹, em Goiás, na safra de 2016/2017. Destaca-se que os rendimentos médios elevados de trigo nesta Região são influenciados pelo cultivo predominantemente em sistema irrigado.

Conforme demonstram os dados da CONAB (2017), verifica-se que o maior crescimento em área cultivada de trigo no Brasil ocorreu em Minas Gerais, que, na safra 2016/2017, cultivou uma área de aproximadamente 84 mil hectares. Neste Estado, o cultivo de trigo tem sido estabelecido, principalmente, em regiões com altitudes acima de 500 m, para cultivo irrigado, e, acima de 800 m, para cultivo sequeiro.

O aumento na produção de trigo no Brasil pode ocorrer tanto pela ampliação da área cultivada, especialmente nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, quanto pela elevação do rendimento das lavouras no sul do País. Segundo Mingoti *et al.* (2014), a área com potencial para produção de trigo no Brasil pode, a curto prazo, alcançar cerca de sete milhões de hectares. Frente aos 2,1 milhões de hectares cultivados na safra 2016/2017 (CONAB, 2017), pelo fato de possibilitar agregação de renda nos empreendimentos, esse aumento de produção de trigo no Brasil, contribuiria de forma positiva para a sustentabilidade econômica dos sistemas de produção de grãos no País.

A elevação do rendimento de trigo pode ser alcançada por meio do uso de melhor tecnologia (envolvendo cultivares e práticas de manejo), ou pelo

aproveitamento das potencialidades dos ambientes ou pela redução das limitações nas diferentes regiões produtoras de trigo no Brasil. Nesse sentido, merece destaque o potencial de expansão da produção tritícola na zona tropical, especialmente no bioma Cerrado, cuja ocupação com trigo, estimada em 120 mil hectares (CONAB, 2017), pode ser considerada muito baixa, frente à dimensão da área que já vem sendo usada em agricultura anual na região.

Nesta região tropical, frise-se, o trigo é uma cultura importante na composição dos sistemas de produção agrícolas sustentáveis, tanto em regime sequeiro quanto irrigado, sendo uma excelente alternativa de diversificação da produção nacional desse cereal. Além dos benefícios aos sistemas de produção locais, o cultivo de trigo no bioma Cerrado também apresenta, como vantagens, o padrão elevado de qualidade tecnológica do produto final, em função do clima quente e seco da região, e da colheita coincidir com a entressafra na região tradicional de produção de trigo no sul do Brasil, que possibilita maior preço pago aos tricultores (Condé *et al.*, 2103).

2.2 Regiões homogêneas de adaptação de cultivares de trigo no Brasil

O conceito de região faz referência a uma porção de território determinada por certas características comuns ou circunstâncias especiais, relacionadas com a noção de espaço, que pode ser o clima e a topografia, entre outras questões geográficas (Gomes, 1995).

A noção de regiões homogêneas deve ser entendida como uma estrutura flexível, em que os limites não são necessariamente definidos em termos geográficos ou jurisdicionais, mas, em função de diversos aspectos, como o tipo de produção predominante, demandas locais, empreendimentos comuns, entre outros. São áreas não necessariamente contíguas que apresentam uma ou várias

características de similaridade. O uso abrange as mais distintas aplicações, dentre elas em agricultura, podendo essas regiões homogêneas ser determinadas pelo uso de diferentes técnicas para classificação de áreas e métodos de agrupamento (Rajaram *et al.*, 1994; Gomes, 1995).

Entre os diversos exemplos de regionalização que seguem padrões de homogeneidade, pode-se citar o trabalho de Lyra *et al.* (2006), pelo qual, as regiões homogêneas foram identificadas em função da sazonalidade da precipitação pluvial no estado de Táchira, Venezuela, por meio do método de agrupamento, conforme Ward (1963). Também, Keller Filho *et al.* (2005), buscando contribuir para estudos de riscos climáticos em agricultura, identificaram 25 zonas pluviometricamente homogêneas no Brasil, usando análise de agrupamento hierárquica. Rajaram *et al.* (1994) criaram os mega-ambientes com características semelhantes usados em escala global pelo Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo – CIMMYT, para definir os programas de distribuição de germoplasma de trigo para as mais diversas regiões produtoras desse cereal no mundo.

Outro exemplo, que utiliza o conceito de mega-ambientes, é o das regiões homogêneas de adaptação de cultivares de trigo no Brasil (RHACT). Esta região surgiu conforme a Instrução Normativa do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) nº 3, de 14 de outubro de 2008 (BRASIL, 2008b), como decorrência da necessidade de se aperfeiçoar a rede de experimentação para a execução de ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU). Os ensaios de VCU integram os requisitos técnicos exigidos pelo Registro Nacional de Cultivares (RNC/MAPA), em obediência ao Decreto nº 5.153, de 23 de julho de 2004, que regulamenta a Lei nº 10.711, de 5 de agosto de 2003 (BRASIL, 2004 e BRASIL, 2003, respectivamente).

As atuais regiões homogêneas de adaptação de cultivares de trigo no Brasil são delimitadas por características ambientais marcantes, que influenciam a adaptação de cultivares, o desempenho produtivo, a qualidade tecnológica do produto e condicionam os grandes estresses bióticos e abióticos (BRASIL, 2008b).

A reordenação das RHACT, a partir de características ecológicas regionais, abstraindo-se fronteiras políticas estaduais e municipais, pode ser encontrada em Cunha *et al.* (2006). Na delimitação das novas RHACT foram utilizados, como referenciais, a precipitação pluvial na estação de crescimento do trigo, quantidade de horas de frio durante o inverno (temperatura média das mínimas do mês mais frio), excesso de calor no período de enchimento de grãos (temperatura média das máximas), altitude e a série histórica de estatísticas de rendimento de grãos. Com base nestas variáveis, foram classificadas as diversas zonas de produção de trigo (desde o extremo sul do Rio Grande do Sul até o Planalto Central do Brasil) em quatro regiões: RHACT 1 - fria e úmida; RHACT 2 - moderadamente quente e úmida; RHACT 3 - quente e moderadamente seca e RHACT 4 - quente e seca (Figura 1).

As RHACT 1 e 2 caracterizam-se pelo total de precipitação pluvial superior ao consumo de água da cultura, tendo, como limitante para as cultivares de trigo, os estresses associados ao excesso de umidade e temperaturas baixas associadas à formação e geadas (Cunha *et al.*, 2011). A RHACT 1 compreende a parte fria, quando se considera o regime térmico, uma vez que abrange as áreas de maior altitude da Região Sul do Brasil e a metade sul do Rio Grande do Sul, que é influenciada pela maior latitude. Por sua vez, a RHACT 2 caracteriza-se pela menor quantidade de frio invernal, concentrando-se em locais de altitudes mais baixas da região Sul do País (Cunha *et al.*, 2006).

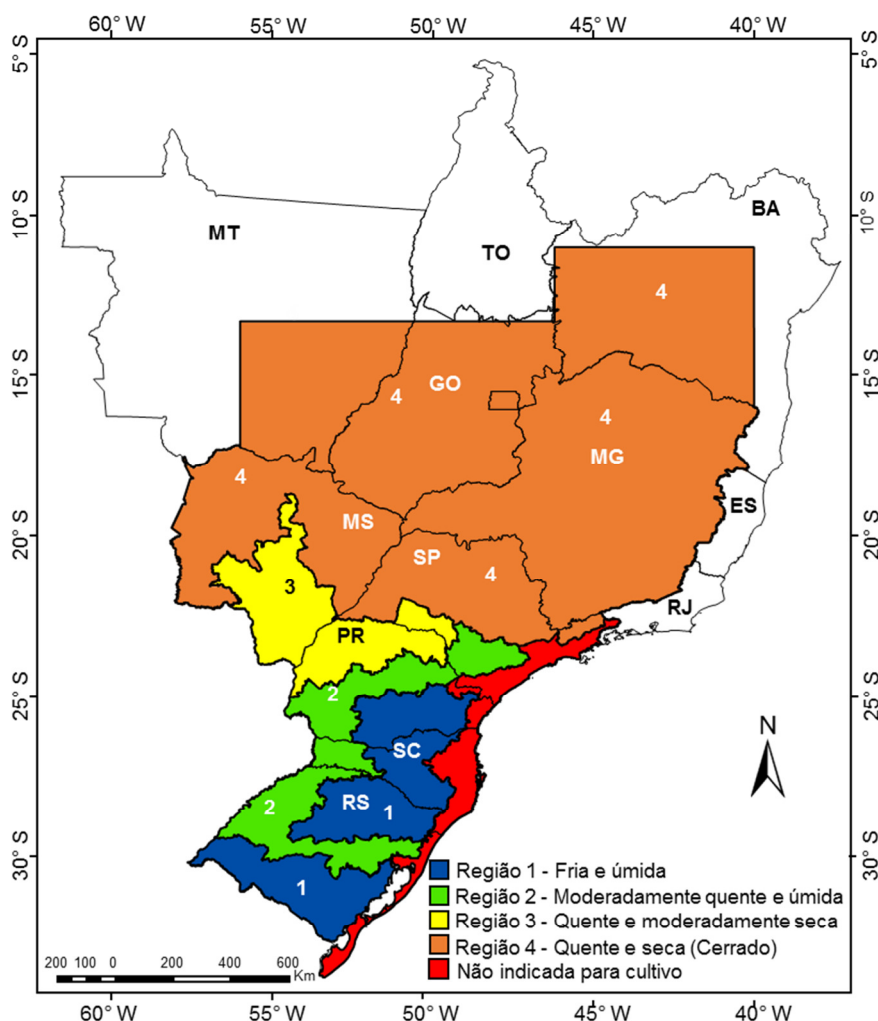


FIGURA 1. Regiões homogêneas de adaptação de cultivares de trigo (RHACT) no Brasil. Fonte: Cunha *et al.* (2006), BRASIL (2008b).

A RHACT 3, quente e moderadamente seca, compreende o norte do Paraná, o sul de São Paulo e parte do Mato Grosso do Sul, onde ainda é possível o cultivo de trigo em regime sequeiro. Cunha *et al.* (2011) destacaram que nessa região, apesar da possibilidade de estresse hídrico no período de prefloração, o ambiente é favorável à produção de trigo no tocante aos atributos de qualidade tecnológica e o potencial produtivo da cultura.

A RHACT 4 (quente e seca) caracteriza-se, em grande escala, pelo excesso de calor e pela deficiência hídrica. Abrange parte dos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Bahia, os estados de Goiás e Minas Gerais e o Distrito Federal. Nessa região, o trigo pode ser cultivado tanto em

sistema sequeiro (fevereiro a junho), quanto em sistema irrigado (maio a setembro). Em ambos os sistemas, por influência do regime térmico, o cultivo restringe-se a áreas com maiores altitudes, preferencialmente acima de 800 metros, e usando cultivares com baixa necessidade de frio e com insensibilidade ao fotoperíodo (Cunha *et al.*, 2006).

Dentre os principais fatores que limitam a expansão da cultura do trigo na RHACT 4, destaca-se a brusone, doença associada a condições de altas temperaturas e umidade relativa do ar elevada, que pode provocar grandes prejuízos na cultura do trigo quando cultivado nestas condições de ambiente.

2.3 Zoneamento agrícola no Brasil

2.3.1 Histórico

Devido à extensão territorial, diversidade de ambientes e diferentes ecossistemas, o Brasil possui grandes áreas com condições adequadas de clima e solo para o uso agrícola. O País é um dos principais produtores e exportadores de diversos produtos agrícolas. Nesse contexto, é esperada que a ocorrência de adversidades climáticas (seca, excesso de umidade, geadas, calor, etc.) pode afetar, de forma direta ou indireta, a produção em alguma época ou região. Destaca-se a seca, como a adversidade de maior relevância e que causa os maiores impactos na produção agrícola brasileira (EMBRAPA, 2008).

Diante da necessidade de redução dos riscos climáticos e a consequente diminuição de perdas no setor agrícola por adversidades climáticas, instituições brasileiras de pesquisa, a partir da década de 1970, passaram a desenvolver diversos estudos para quantificar e mapear as áreas mais favoráveis ao uso das culturas de sequeiro. Foi considerando, principalmente, a distribuição espacial e temporal da precipitação pluvial, a partir da qual foi possível indicar locais

(regiões) e períodos mais adequados para o crescimento de uma determinada cultura. Dentre esses tipos de estudo, podem ser citados os zoneamentos de aptidão agrícola, agroclimático, agrícola e o zoneamento agrícola de risco climático, cada qual com sua particularidade, indicando o tipo de cultivo potencial, o calendário de semeadura/plantio para as espécies de interesse econômico e alcançando até o ciclo de cultivar e tipo de solo por nível de risco climático presumido (EMBRAPA, 2008).

Embora estes diferentes tipos de zoneamentos sejam complementares, apresentam características e finalidades diferentes. O zoneamento de aptidão agrícola visa a delimitar, em uma região, zonas com características edafoclimáticas aptas para o cultivo de uma determinada cultura, indicando áreas aptas, marginais ou inaptas. O zoneamento agroclimático busca identificar áreas de maiores ou menores riscos climáticos, quanto ao fator clima, em macroescala, por meio de valores médios dos elementos e de índices climáticos, indicando as áreas com maior potencial de rendimento. E o zoneamento agrícola, define a melhor época de plantio/semeadura e as cultivares habilitadas para o local, considerando o tipo de solo, clima local e o ciclo fenológico da cultura: que cultivar, quando e onde (EMBRAPA, 2008; Santos & Martins, 2016).

Por fim, o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), que, diferentemente dos anteriores, é elaborado com base em conceitos de potencialidade e aptidão, considera a quantificação de risco por meio de análises de probabilidade, resultando na indicação, para cada município, da melhor época de plantio/semeadura por tipo de solo e ciclo de cultivar (Rossetti, 2001; EMBRAPA, 2008).

Em 1996, o Governo Federal, por meio do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, viabilizou o projeto Desenvolvimento de Estudos de

Regionalização dos Sinistros Climáticos no Brasil. O objetivo era minimizar as perdas na produção agrícola através da disponibilização de técnicas ao produtor rural que permitissem reduzir os riscos climáticos relacionados ao regime de chuva, estabelecendo zonas homogêneas com épocas de plantio/semearia de menor risco para cada cultura (Assad *et al.*, 2008).

A partir desses estudos foi construída a proposta do Zoneamento Agrícola de Risco Climático, que passou a ser usado como instrumento de política agrícola e gestão de riscos em agricultura, com o objetivo principal de minimização de riscos relacionados aos elementos climáticos e, não a potencialização de rendimento dos cultivos (Cunha *et al.*, 2015).

O ZARC entrou em operação no Brasil em 1996, com a cultura do trigo, e foi uma forma eficiente de colocar o conhecimento científico sobre zoneamento agrícola no Brasil à disposição dos usuários, pela via da integração entre política de crédito e seguridade rural e orientações sobre períodos de semearia por município, cultura/cultivar e tipo de solo. Além das variáveis analisadas, clima, solo e planta, vale-se de funções matemáticas e estatísticas para o cálculo de probabilidades, visando a quantificação do risco de perdas das lavouras com base no histórico de ocorrência de eventos climáticos adversos (Assad *et al.*, 2008; EMBRAPA, 2008; Cunha *et al.*, 2015).

Dessa forma, após análise de séries históricas de dados meteorológicos, com, pelo menos, 15 anos de dados diários, identifica-se para cada município a melhor época de semearia para culturas anuais, levando em consideração os tipos de solo, ciclo de cultivares e assumindo como nível de risco possível de perda pré-estabelecido em 20% (Assad *et al.*, 2008; EMBRAPA, 2008).

O ZARC tem atuado como um indutor de usos de tecnologia, possibilitando substancial redução no percentual de perdas causadas por adversidades

climáticas não controláveis na agricultura brasileira (Rossetti, 2001; Cunha *et al.*, 2015; Santos & Martins, 2016). É uma ferramenta técnico-científica resultante do trabalho de uma equipe multidisciplinar de especialistas de diversas instituições de ensino e pesquisa agrícola (Rossetti, 2001).

No âmbito do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o ZARC está vinculado à Secretária de Política Agrícola, cujo Departamento de Gestão de Risco Rural contempla a Coordenação-Geral de Zoneamento Agropecuário. Este é o órgão responsável pela revisão anual das portarias, que são publicadas no Diário Oficial da União (DOU) para a vigência na safra indicada, em cada unidade da federação, onde estão incluídos os seguintes itens (Cunha *et al.*, 2011):

- a) **Nota técnica** – refere-se à metodologia do ZARC, contendo os parâmetros edafoclimáticos utilizados para cada cultura na região estudada;
- b) **Tipos de solo** – os solos estão agrupados em três categorias quanto à capacidade de retenção de água: (arenoso - Tipo 1) solos com teor de argila maior que 10% e menor ou igual a 15%; (médio - Tipo 2) solos com teor de argila entre 15% e 35% e menos de 70% de areia; e (argiloso – Tipo 3) solos com teor de argila maior de 35% (BRASIL, 2008a);
- c) **Tabela de períodos de semeadura** – estão indicados os períodos de semeadura/plantio por decêndio, ou seja, a cada 10 dias do mês. O primeiro decêndio corresponde ao período de 1º a 10 de janeiro, o segundo, de 11 a 20 de janeiro, e, assim sucessivamente, até o ultimo decêndio do ano, que corresponde ao período de 21 a 31 de dezembro, ou seja, trigésimo sexto decêndio;
- d) **Cultivares indicadas** – para as culturas anuais, são listadas todas as cultivares indicadas pelas empresas obtentoras (quem as desenvolve), mantenedoras (as que detêm a patente) e/ou representantes legais, agrupadas

por ciclo/grupos de maturação fisiológica. Para a indicação das cultivares no zoneamento agrícola, é necessário que as mesmas estejam registradas no Registro Nacional de Cultivares (RNC) do MAPA. No caso de culturas perenes ficam indicadas todas as cultivares registradas no RNC; e

e) **Tabelas de municípios** – apresenta a relação dos municípios indicados para a semeadura/plantio de uma cultura no estado a que se refere a portaria. Consta, também, o período de semeadura (decêndio inicial e final) para cada município, por tipo de solo e grupo de cultivar.

A metodologia utilizada para as culturas anuais no Brasil é baseada em balanços hídricos diários sequenciais, calculados para semeaduras espaçadas a cada dez dias (decêndios), abrangendo todo o ciclo da cultura (Emergência – Maturação). O ciclo das culturas é dividido em 4 etapas: 1) inicial (emergência); 2) crescimento vegetativo; 3) florescimento-enchimento de grãos; e 4) maturação. A demanda de água pelas culturas em cada etapa é determinada utilizando-se coeficientes de cultura (K_c) apropriados, definidos para cada região do Brasil, com base em dados de literatura, preferencialmente brasileira.

Para as culturas anuais de inverno, também são considerados estudos de quantificação do risco de ocorrência de geada durante a etapa de florescimento/enchimento de grãos, principalmente na Região Sul do Brasil, permitindo quantificar e qualificar áreas e épocas adequadas para semeadura (Assad, *et al.*, 2008).

O Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos mostrou uma evolução no tempo, compatível com a sua importância como instrumento de política pública. Iniciou com a cultura do trigo, em 1996, e foi estendido para as culturas de algodão, arroz, feijão, milho e soja. A partir da safra 2005/06, foram incluídas

outras culturas, como banana, café, caju, cevada e uva. Para a safra 2016/17, contempla 44 culturas, entre anuais, consorciadas e perenes (BRASIL, 2016).

Outra evolução importante no ZARC, ao longo do tempo, foi que, além do percentual de 20%, a partir da safra 2016/17, acrescentou-se o uso de níveis maiores de risco, no caso 30% e 40%, possibilitando, assim, uma tomada de decisão mais confiável pelos produtores, agentes financeiros e, também pelo governo.

2.3.2 Critérios para delimitação de áreas favoráveis para cultivo de trigo sequeiro no Brasil

Para a safra 2016/17, as políticas de crédito e seguro rural do Governo Federal para trigo sequeiro no Brasil foram embasadas no novo Zoneamento Agrícola de Risco Climático do MAPA (BRASIL, 2016). O novo ZARC delimitou, em escala municipal, os períodos de semeadura favoráveis, com níveis de risco menores ou iguais a 20%, 30% e 40%, para as unidades da federação que, reconhecidamente, por experiências passadas, possuem aptidão potencial para o cultivo desse cereal no País: RS, SC, PR, SP, MG, MS, MT, GO e DF. A definição dos períodos para a semeadura de trigo sequeiro foi realizada com o uso de um modelo de balanço hídrico da cultura, aplicado para simulações de semeaduras decendiais (dias 5, 15 e 25 de cada mês). Ressalta-se que, por se tratar de um modelo agroclimático, admite-se o pressuposto de que não ocorrerão limitações quanto à fertilidade dos solos e danos às plantas por ocorrência de pragas e doenças (BRASIL, 2016).

Os maiores riscos de perda de produção em trigo sequeiro estão relacionados com o excesso de umidade e a ocorrência de geadas, na Região Sul do Brasil. Por outro lado, temperaturas elevadas e deficiência hídrica, são os

principais fatores de risco na região Centro-Oeste, especialmente no bioma Cerrado. Para cada unidade da federação, admitidas com aptidão para o cultivo de trigo, são identificados os municípios e os períodos favoráveis de semeadura para três níveis de risco climático (20%, 30% e 40%), a partir de análises das condições térmicas (geada) e hídricas, especialmente déficit hídrico (Cunha, *et al.*, 2009; BRASIL, 2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2016e, 2016f, 2016g, 2016h, 2016i).

Para a delimitação de áreas favoráveis para o cultivo do trigo no Brasil, pelo novo ZARC do MAPA, são considerados:

- **Solo:** três tipos de solo com diferentes capacidades de armazenamento de água: solos do tipo 1 (arenoso), solos tipo 2 (textura média) e solos tipo 3 (argiloso), conforme especificados na Instrução normativa nº 2, de 9 de outubro de 2008 (BRASIL, 2008a);
- **Cultivares:** as cultivares foram reunidas em três grupos (I, II e III), conforme a duração do ciclo, que é variável regionalmente. Assim, definiram-se os grupos de cultivares e seus respectivos ciclos conforme a região de cultivos. A região tropical, nas latitudes menores que 23° 27' S, abrangendo GO, MG, SP, MS, MT e DF (Tabela 1) e região temperada, nas latitudes maiores que 23° 27' S, incluindo-se os estados do RS e SC e parte do PR, SP e MS (Tabela 2).
- **Dados climáticos:** para o cálculo do balanço hídrico foram usados dados de precipitação pluvial obtidos de séries com, no mínimo, 15 anos de dados diários, de 3.500 estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) e climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), das redes de estações convencionais e automáticas (Figura 2).

TABELA 1. Trigo na região tropical, duração do ciclo da cultura e das etapas fenológicas emergência-espigamento e espigamento-maturação fisiológica. Fonte: BRASIL (2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2016e).

Ciclo/Grupo	Emergência – Espigamento (dias)	Espigamento – Maturação fisiológica (dias)
105 dias (I)	45	40
115 dias (II)	50	45
125 dias (III)	55	50

TABELA 2. Trigo na região temperada, duração do ciclo da cultura e das etapas fenológicas emergência - espigamento e espigamento-maturação fisiológica. Fonte: BRASIL (2016f, 2016g, 2016h, 2016i).

Ciclo/Grupo	Emergência – Espigamento (dias)	Espigamento – Maturação fisiológica (dias)
125 dias (I)	65	35
135 dias (II)	70	40
145 dias (III)	75	45

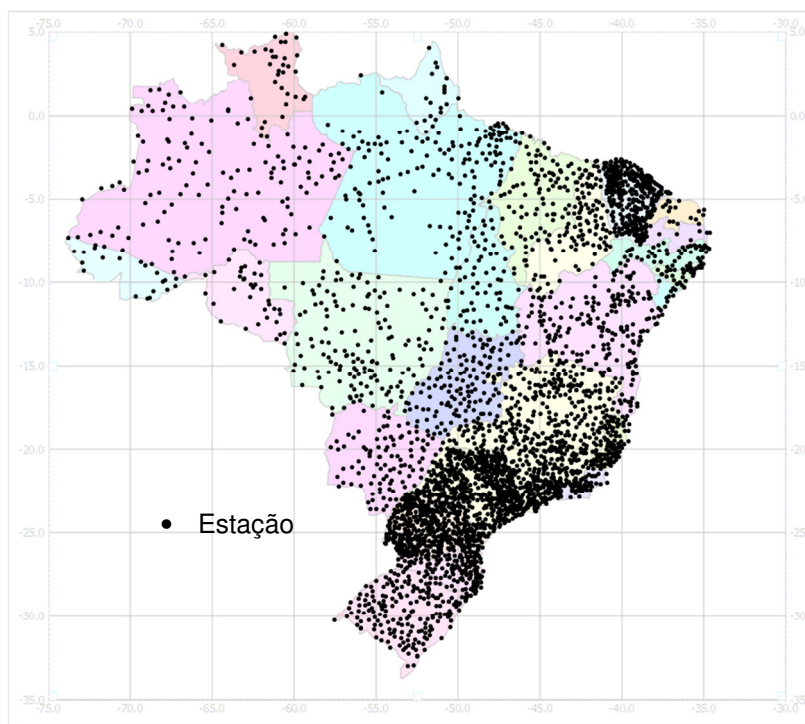


FIGURA 2. Distribuição das 3.500 estações pluviométricas e climatológicas no Brasil usadas no ZARC trigo sequeiro 2016/17. Fonte: Embrapa Informática Agropecuária (2016).

- **Evapotranspiração potencial:** foi estimada pelo método de Hargreaves e Samani (1985) adaptado e recalibrado para a estimativa da evapotranspiração de referência diária para todo o Brasil. Na calibração foi utilizado como referência o método Penman-Monteith (FAO).

- **Coeficiente de cultura:** Os valores médios de coeficiente de cultura (K_c) foram ajustados para períodos decendiais, a partir de dados de literatura, conforme o ciclo das cultivares.

Nas simulações de balanço hídrico, foi utilizado o Sistema de Análise Regional dos Riscos Agroclimáticos (SARRAZON), desenvolvido por Baron & Clopes (1996). Dentre os parâmetros obtidos da simulação do balanço hídrico, o mais importante é a relação ET_r/ET_m (razão entre a Evapotranspiração real e a Evapotranspiração máxima da cultura), que expressa a quantidade de água que a planta consome e a que seria desejável para garantir rendimento máximo sem limitação hídrica. A relação ET_r/ET_m é, mais frequentemente, denominada de Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA).

Após a determinação dos valores de ISNA em cada ano, foram realizadas as análises de frequências nos níveis de 80%, 70% e 60% de ocorrência de valores iguais ou maiores aos especificados como referências para essa razão (níveis de riscos de serem menores ou iguais a 20%, 30% e 40%, respectivamente). Posteriormente, os valores de ISNA foram georreferenciados por meio da latitude e longitude e, com a utilização de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), espacializados. A partir da interpolação desses valores, pelo processo de krigagem, foi realizada a geração de mapas temáticos que permitiram a definição das datas de semeadura favoráveis, segundo os níveis de risco especificados (20%, 30% e 40%), para o cultivo de trigo sequeiro no Brasil.

Nesse estudo, foram utilizados, como referenciais de ISNA, valores menores ou iguais a 0,60 no subperíodo semeadura-emergência (etapa 1) e a 0,55 na etapa de enchimento de grãos (etapa 3). Acrescente-se, ainda, o uso de filtros climáticos de riscos de geada no decêndio de espigamento do trigo. Nesse

caso, considerou-se a ocorrência de temperatura mínima do ar $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, no abrigo meteorológico, até o nível de 20% de risco de ocorrência, em função do decêndio de semeadura, conforme o ciclo da cultivar.

Como resultado destes estudos para o novo ZARC do MAPA, foi disponibilizada a relação de municípios indicados como aptos ao cultivo de trigo sequeiro e também os períodos de semeadura (início e fim), por tipo de solo, por ciclo de cultivar (grupo) e nível de risco. Os níveis de risco correspondem à probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica (definidas pelos valores de ISNA) em 20%, 30% e 40% dos anos considerados na série histórica dos dados em cada decêndio do período de semeadura (início e fim). Cada município foi considerado apto ao cultivo de trigo sequeiro quando o resultado da interpolação do ISNA caiu em classes de penalização nos rendimentos que podem ser consideradas como de impacto moderado ($0,55 \geq \text{ISNA} < 0,7$) ou baixo ($\text{ISNA} \geq 0,7$)

Os resultados do ZARC são disponibilizados ao público alvo (produtores, assistência técnica, instituições financeiras, entre outros) por meio de portarias do MAPA. Para a safra 2016/2017, as portarias do MAPA relativas ao ZARC Trigo sequeiro, podem ser consultadas no portal do MAPA, contemplando nove unidades da federação: RS, SC, PR, SP, MS, GO, MG, MT e DF (BRASIL, 2016).

2.4 Uso de geotecnologias

Embora o conhecimento do território brasileiro tenha evoluído nas últimas décadas, ainda existe grande potencial para avanços, devido à diversidade, complexidade e extensão de ambientes que compõem os grandes biomas nacionais. Neste sentido, o uso de geotecnologias aplicadas pode proporcionar maior sucesso no monitoramento agrícola, no planejamento e na identificação de

áreas com aptidão e potencial elevado para os cultivos agrícolas (Batistella, 2010).

O uso de geotecnologias possibilita a associação de informações ao espaço geográfico, abrangendo um conjunto de tecnologias e métodos científicos aplicados à análise, exploração, estudo e conservação dos recursos naturais em diferentes escalas. Tais tecnologias ligadas às geociências e disciplinas correlatas são imprescindíveis para avanços significativos no desenvolvimento de pesquisas básicas, aplicadas nas mais diversas áreas de conhecimento relacionadas à estrutura do espaço geográfico (Fitz, 2008; Favrin, 2009).

No contexto agrícola, as aplicações via o uso de Sistema de Informações Geográficas (SIG) frequentemente utilizam Sistema de Posicionamento Global (GPS) e sensoriamento remoto (SR), por meio de imagens de satélite ou fotografias aéreas, aliadas a análises geoestatísticas. Merece destaque o uso de geotecnologias para mapear e quantificar mudanças na cobertura e uso do solo. Um dos mais recentes estudos, ainda em desenvolvimento, é o Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomass). Esse esforço é uma iniciativa do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima (SEEG/OC), produzido por uma rede colaborativa de co-criadores formada por organizações não governamentais (ONGs), universidades e empresas, organizado por biomas e temas transversais. O projeto utiliza imagens Landsat (5, 7 e 8), considerando o período de 2000 a 2016, com a finalidade de mapear e quantificar mudanças no uso e cobertura do solo dos biomas brasileiros (MAPBIOMASS, 2017).

Outro estudo realizado utilizando SIG no âmbito regional, mas de extrema relevância, foi o projeto TerraClass Cerrado 2013, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) em colaboração com instituições federais de ensino e

pesquisa. Nesse trabalho foi realizado o mapeamento do uso da terra e da cobertura vegetal do bioma Cerrado a partir de 121 cenas do satélite Landsat 8, sensor *Operational Land Imager* (OLI). O estudo permitiu separar doze classes de uso e cobertura no solo: agricultura anual e perene, corpos d'água, mineração, área urbana, pastagens, silvicultura, solo exposto, natural florestal, savânico, campestre e mosaico de ocupação. Os resultados do estudo mostraram que o bioma Cerrado permanece com, aproximadamente, 54% sua vegetação natural, cerca de 29% são ocupados com pastagens, 8,5% com agricultura anual e 3,1% ocupada com atividades de agricultura perene. Assim, o uso total do bioma Cerrado com atividades antrópicas corresponde a cerca de 41% (BRASIL, 2015).

No tocante a estimativas de safra, o projeto GeoSafras se destaca pela grande abrangência territorial e intenso uso de geotecnologias. O projeto teve início em 2003, sob coordenação da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), e contou com o apoio de uma rede multi-institucional composta de universidades e instituições de pesquisa, que, em conjunto, tem trabalhado para aprimorar os sistemas de estimativas de safras agrícolas brasileiras. Esta iniciativa tem possibilitado a aplicação, em escalas regional e nacional, de estimativas de áreas de cultivo e previsão de impactos no rendimento das lavouras por meio da integração de recursos tecnológicos como: modelos estatísticos, sensoriamento remoto, posicionamento por satélite (GPS), sistemas de informações geográficas (SIGs) e modelos agrometeorológicos-espectrais (CONAB, 2016; Figueiredo, 2005).

Ainda no tocante ao uso de geotecnologias aplicadas à agricultura brasileira, outro projeto que merece destaque é o denominado Sistema de Observação e Monitoramento da Agricultura no Brasil (SOMABRASIL), desenvolvido pela Embrapa Monitoramento por Satélite. Lançado em 2012, esse

projeto foi concebido como uma plataforma para visualização, integração e consulta de dados espaciais da agricultura brasileira. Integra bases de dados de recursos naturais e agricultura provenientes de várias fontes, sendo capaz de oferecer uma espécie de “radiografia” do Brasil. Estão disponíveis dados sobre relevo, hidrografia, logística, áreas protegidas e potencial agrícola. O projeto destaca o mapeamento da agricultura de larga escala e apresenta a distribuição espacial das culturas de grãos para os anos/safra 2002/2003, 2007/2008 e 2010/2011, identificando áreas com uma ou duas safras anuais. O mapeamento ajuda a compreender os processos de expansão, transição e intensificação do uso agrícola (Victoria *et al.*, 2013; Batistella *et al.*, 2012).

2.4.1 Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na integração de informações

Os SIG são definidos como ferramentas computacionais de geoprocessamento que, por meio de técnicas computacionais e matemáticas, realizam o tratamento de informações geográficas e permitem o armazenamento, o processamento, a integração e, também, a análise e manipulação de grande quantidade de dados espaciais, bem como a sua visualização e representação georreferenciadas (Câmara & Medeiros, 1998; Câmara *et al.*, 2004; Silva, 2010; Florenzano, 2011).

Miranda (2005) considerou SIG mais como uma ciência de informações espaciais do que uma tecnologia, tendo sido projetados para realizar um conjunto de tarefas específicas, pré-definidas, e que evoluíram para uma ferramenta de uso mais amplo em diversas áreas.

Por meio de diversas metodologias de análise espacial de dados, os SIGs e a modelagem, são ferramentas poderosas na pesquisa agrícola e na gestão de

recursos naturais, dada a capacidade de desempenhar papel fundamental no auxílio de diversas tarefas. Dentre elas, pode-se citar a avaliação de impactos ambientais, simulações de cenários futuros e/ou alternativos, previsão de potencial de uso de recursos naturais e solos, análise de proximidade e também outras simulações ou modelagens estatísticas (Burrough, 1986; Miranda, 2005).

Quanto à aplicabilidade de SIG em questões agrícolas, destaca-se a elaboração de zoneamentos, em função da flexibilidade para múltiplas combinações e interpretações de base de dados, ambientais ou não, coletados em diferentes escalas de detalhes (Assad & Sano, 1993; Assad & Sano, 1998; Machado *et al.* 2007).

Cabe ressaltar que o cruzamento espacial entre planos de informação é uma das principais funções dos SIG no processo de zoneamento agrícola e na identificação de áreas agrícolas com aptidão para uma determinada cultura (Figura 3). Podem-se considerar, para fim de exemplificação, dois planos de informação (A e B), sendo que cada plano representa o mapeamento de uma variável, conforme o valor de um atributo em uma área de mesmas coordenadas geográficas e com mesma resolução espacial (*pixel*). No plano “A”, por exemplo, são considerados três níveis de aptidão quanto a um determinado atributo (0 - áreas inaptas; 1 - áreas aptas com restrição e 2 - aptas sem restrição), e no plano “B” são considerados apenas dois níveis de aptidão de um segundo atributo (0 – inapto e 1 – apto). O cruzamento espacial entre os planos “A” e “B”, realizado por meio da multiplicação entre os dois planos de informação, resulta em um plano “C” que é a intersecção ou sobreposição entre eles, considerando a condição requerida de aptidão dos planos “A” e “B”.

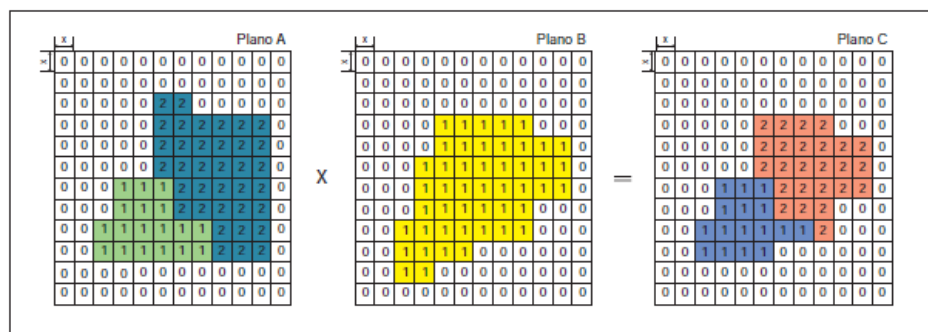


FIGURA 3. Esquema gráfico de cruzamento espacial no Sistema de Informações Geográficas (SIG). Fonte: Machado *et. al.* (2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área deste estudo abrange a parte do bioma Cerrado (IBGE, 2004) que está inserida na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), conforme Cunha *et al.* (2006). A mesma se localiza ao sul do paralelo 13°30' S, englobando os estados de Mato Grosso e Goiás e o Distrito Federal, e, a leste do meridiano 56°W, no estado do Mato Grosso. No estado da Bahia, localiza-se ao sul do paralelo 11° S e a oeste do meridiano 43° W. Nos demais estados, Mato Grosso do Sul, São Paulo e Minas Gérias, os limites são definidos pelo contorno do bioma Cerrado (Figura 4). A área de estudo possui, aproximadamente, 126 milhões de hectares.

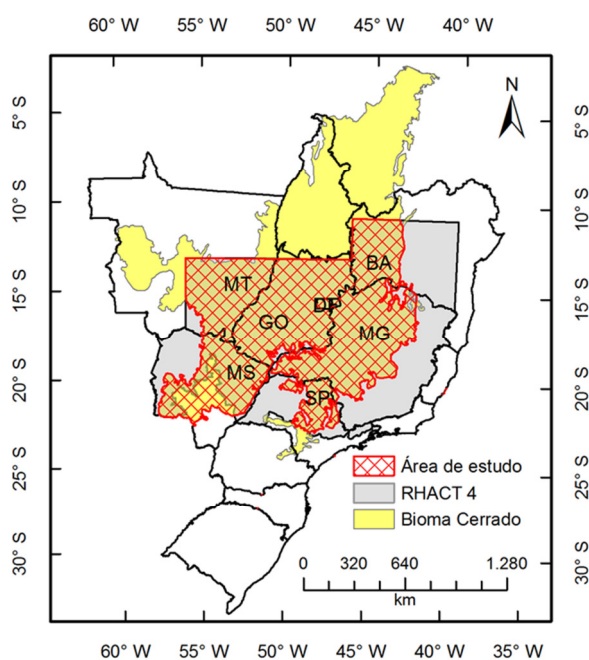


FIGURA 4. Mapa de localização da área de estudo no território brasileiro. Fonte: adaptada de IBGE (2004).

3.2 Caracterização climática do bioma Cerrado

O bioma Cerrado ocupa uma área de, aproximadamente, 203 milhões de hectares, que corresponde a, cerca de, 22% do território nacional, abrangendo 12 estados brasileiros e o Distrito Federal. É o segundo maior bioma do País, sendo que a maior parte de sua área está localizada na região do Planalto Central do Brasil (BRASIL, 2017). Tem, em sua composição, um mosaico de vários tipos de vegetação devido à diversidade de solos, topografia e climas existentes (Silva *et al.*, 2008).

As características pluviais e as massas de ar que atuam no Cerrado são fortemente influenciadas pelos sistemas da atmosfera que afetam a América do Sul (Nimer, 1989; Silva *et al.*, 2008), vinculados aos centros de ação inter e extratropicais, que podem ser positivos (origem marítima) como o anticiclone do Atlântico Sul ou negativos (origem continental) como as depressões amazônicas e do Chaco.

Também conhecido como Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), o anticiclone do Atlântico Sul caracteriza-se pela grande quantidade de umidade que transporta em direção ao continente. Durante a primavera e verão, este sistema é um dos principais responsáveis pelo regime de chuvas na região do Cerrado. Quando em conjunto com sistemas originados no norte (caso da Zona de Convergência Intertropical) e do oeste (como a Alta da Bolívia) provocam longos períodos com índices elevados de precipitação pluvial (Silva *et al.*, 2008).

Outro sistema importante no regime de chuvas, em grande parte da região do Cerrado, é a massa tropical continental (Tc), originária da região de Chaco no Paraguai, que, quando em condição de baixa pressão, é responsável pelas estiagens durante a estação de chuva na região Central do Brasil (Assad *et al.*, 1993). Por sua vez, o sistema Massa Polar Atlântica (Pa), relacionado ao

anticiclone migratório polar, atua principalmente no período de inverno, favorecendo a ocorrência de estiagem durante essa estação do ano.

A atuação dos sistemas anteriormente citados confere certa peculiaridade climática ao Cerrado, com duas estações bem definidas: uma chuvosa, iniciando entre os meses de setembro e outubro e estendendo-se até março e abril; e outra seca, começando entre os meses de abril e maio e estendendo-se até os meses de setembro e outubro. A característica do clima regional pode ser visualizada nos dados médios (1961 a 1990) de precipitação pluvial mensal e temperatura do ar de algumas estações meteorológicas localizadas na região de estudo (Figura 5).

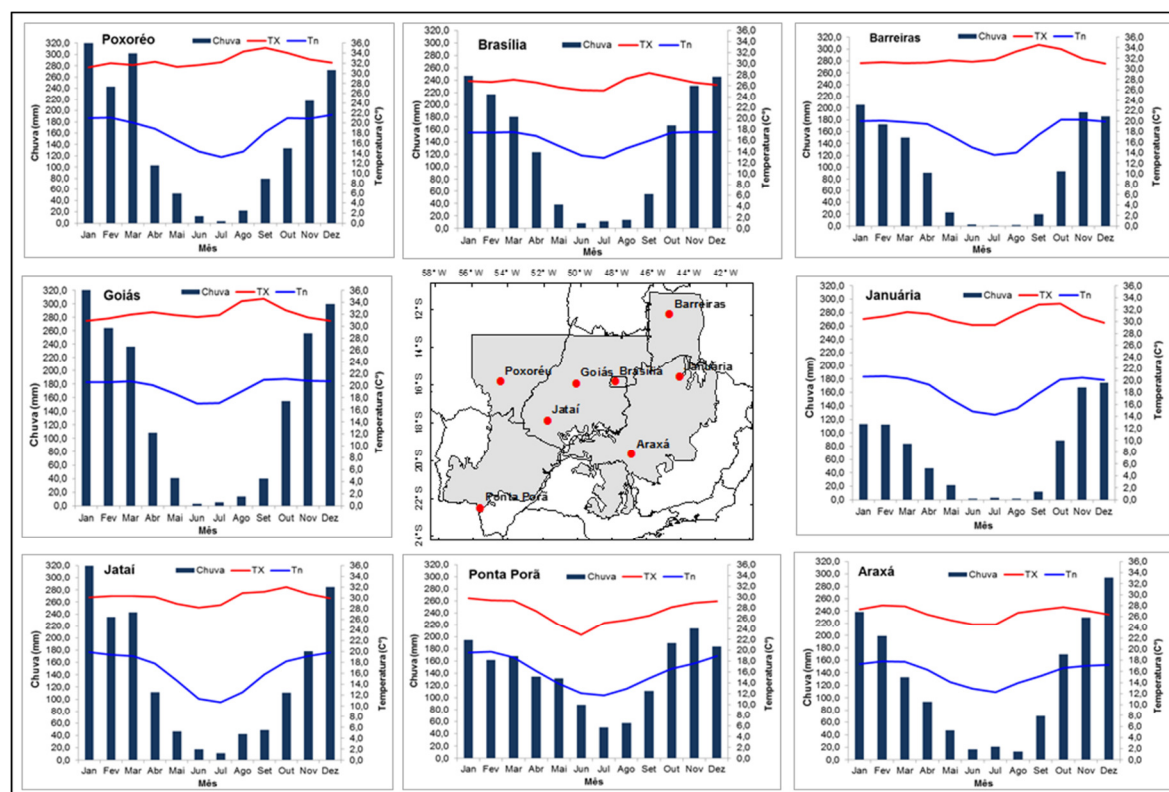


FIGURA 5. Totais médios mensais de precipitação pluvial, temperatura média das máximas (Tx) e temperatura média das mínimas (Tn) mensal do ar (1961-1990) nas estações meteorológicas de Poxoréu, Brasília, Barreiras, Goiás, Januária, Jataí, Ponta Porã e Araxá. Fonte: adaptada de INMET (2009).

De modo geral, a amplitude térmica e o regime pluviométrico são influenciados, principalmente, pela localização geográfica, massas de ar e

altitude. Quanto aos valores médios de temperatura do ar (mínima, média e máxima), os mais elevados são encontrados no norte do bioma (Tocantins e Maranhão) e os mais amenos encontram-se mais no extremo sul, principalmente nos estados do Mato Grosso do Sul, São Paulo, Goiás e Minas Gerais. Nessa região, as temperaturas médias anuais do ar variam de 18 °C a 22 °C, as médias das máximas oscilam entre 24 °C e 31°C e as temperaturas mínimas variam de 14 °C a 18 °C (Figura 5). Destaca-se também que na região sul do bioma Cerrado, as temperaturas mínimas podem oscilar entre 8 °C e 15 °C nos meses de junho e julho (Silva *et al.*, 2008).

A Figura 5 evidencia a grande variabilidade climática, sobretudo pluviométrica, existente na região do bioma Cerrado, que é alvo neste estudo. Em termos de temperatura, a média das máximas do ar pode alcançar 34 °C, como por exemplo, em Barreiras, BA. No tocante à precipitação pluvial, observa-se que os valores podem atingir até 320 mm nos meses de verão, como por exemplo, nas estações climatológicas de Jataí, GO e Poxoréo, MT. Destaca-se, também, a estação climatológica de Ponta Porã, MS, cuja temperatura mínima no mês mais frio chega a 12 °C e o total de chuva no mês mais seco é superior a 50 mm. Adotando-se a classificação climática de Köppen-Geiger (Álvares *et al.*, 2013), o clima que prevalece em grande parte da região alvo desse estudo, é classificado como tropical úmido (megatérmico) de savana, com inverno seco e verão chuvoso (Aw), sendo a temperatura média do mês mais frio superior a 18 °C e a precipitação pluvial do mês mais seco inferior a 60 mm (Figura 6).

Encontram-se, também, na região de estudo os climas tropicais úmido ou equatorial (Af) e tropical de monção (Am) no estado de Mato Grosso do Sul. O clima Af caracteriza-se pela temperatura média do ar elevada; entre 24 °C e 27 °C, com média mensal sempre superior a 18 °C, e pela alta pluviosidade

(superior 2.000 mm de precipitação total anual e média mensal superior a 60 mm em todos os meses do ano). O clima Am apresenta, pelo menos, um mês com precipitação pluvial inferior a 60 mm, em geral associado à alternância entre a estação das chuvas e a estação seca, que ocorre em grandes áreas das regiões costeiras tropicais e subtropicais.

São encontrados, ainda, os climas (Cwa) e (Cwb), classificados como subtropical chuvoso, caracterizado pelo inverno seco, com 70% ou mais da precipitação pluvial média anual concentrada nos seis meses mais quentes do ano, verão quente e a temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C. O clima Cwa abrange, principalmente, a região sul do estado de Minas Gerais e parte de São Paulo. O Cwb, que se diferencia do Cwa por apresentar verão ameno com temperatura média do mês mais quente inferior a 22 °C pode ser encontrado na região sul de Minas Gerais (Figura 6).

Abrangendo menor área, são encontrados o clima tropical úmido (As), no norte de Minas Gerais, e os climas subtropicais úmido (Cfa e Cfb) no estado de São Paulo e, também, em pequena região do Mato Grosso do Sul (Figura 6).

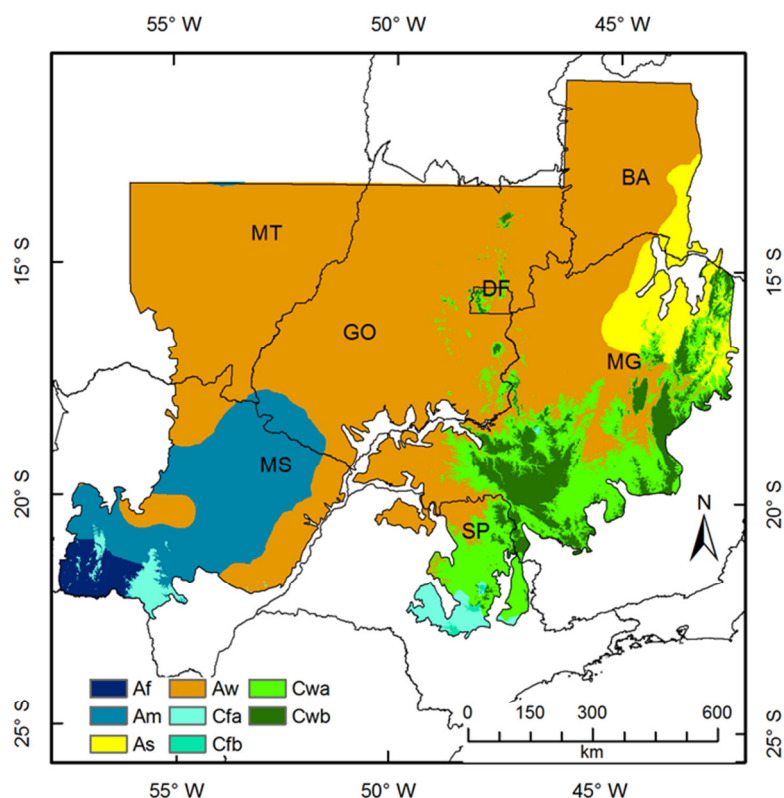


FIGURA 6. Classificação climática do bioma Cerrado. Fonte: adaptada de Álvares *et al.* (2013).

3.3 Bases de dados utilizadas

Na realização deste estudo foram utilizadas três bases de dados: a) mapa de uso e cobertura das terras do bioma Cerrado; b) modelo digital de elevação, utilizado para a estratificação das faixas de altitude; e c) mapas de Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA) gerados pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para trigo safrão no Brasil-safra 2016/2017.

3.3.1 Mapa de Uso e Cobertura das Terras do Bioma Cerrado

Para a identificação de áreas onde vem sendo praticada agricultura anual, foi utilizado o mapa de uso e cobertura das terras do Cerrado, referente ao ano de 2013, do projeto TerraClass Cerrado (BRASIL, 2015). Esse projeto mapeou o bioma a partir de imagens Landsat, com 30 m de resolução espacial, nas classes: natural, natural não florestal, natural não vegetada, agricultura anual, agricultura

perene, silvicultura, área urbana, mineração, mosaico de ocupações, pastagem, solo exposto e outros, além de áreas não observadas.

Especificamente, para a identificação da classe agricultura anual, as áreas foram mapeadas por meio do uso de séries temporais do índice de vegetação (IV) do tipo *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), obtidas do sensor *Moderate Imaging Spectroradiometer* (MODIS), com resolução espacial de 250 m, sendo posteriormente compatibilizadas com a escala de mapeamento do projeto de 30 m (BRASIL, 2015).

Para realização do estudo que é objeto desta dissertação, as áreas da classe “agricultura anual” do projeto TerraClass foram reamostradas para a escala de 1 km, usando, como técnica de reamostragem, a do “valor predominante”, para compatibilização com os mapas temáticos gerados pelo ZARC trigo sequeiro 2016/2017 (Figura 7).

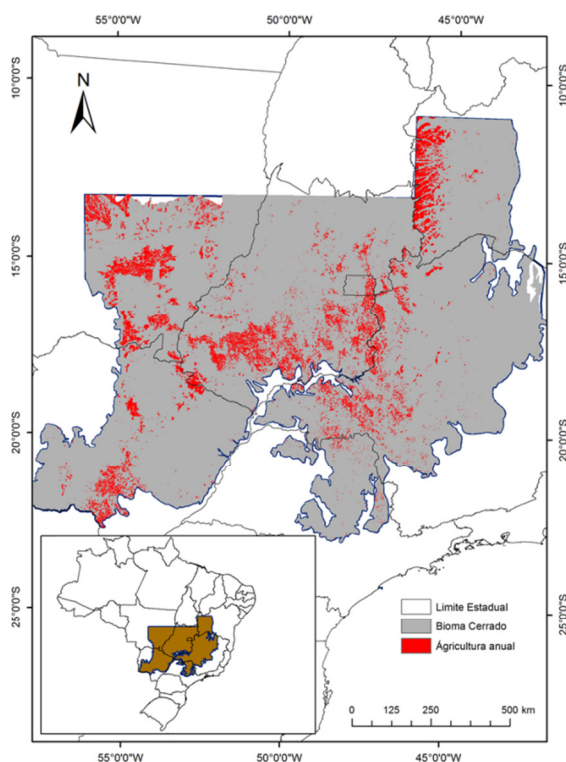


FIGURA 7. Distribuição das áreas de agricultura anual na área de estudo no bioma Cerrado. Fonte: adaptada de BRASIL (2015).

3.3.2 Modelo Digital de Elevação (MDE)

Os dados do modelo digital de elevação (MDE) do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com 90 m de resolução espacial, disponíveis no servidor de dados *Earth Explorer* (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), foram utilizados nesse trabalho. O método de reamostragem empregado no tratamento dos dados foi o bilinear, por meio do programa de SIG QGis®, disponibilizado pela Embrapa Informática Agropecuária.

Foi realizada a estratificação por faixas de altitude, com base no MDE, nos intervalos: menor que 400 m; 400 a 600 m; 601 a 800 m; e maior que 800 m (Figura 8).

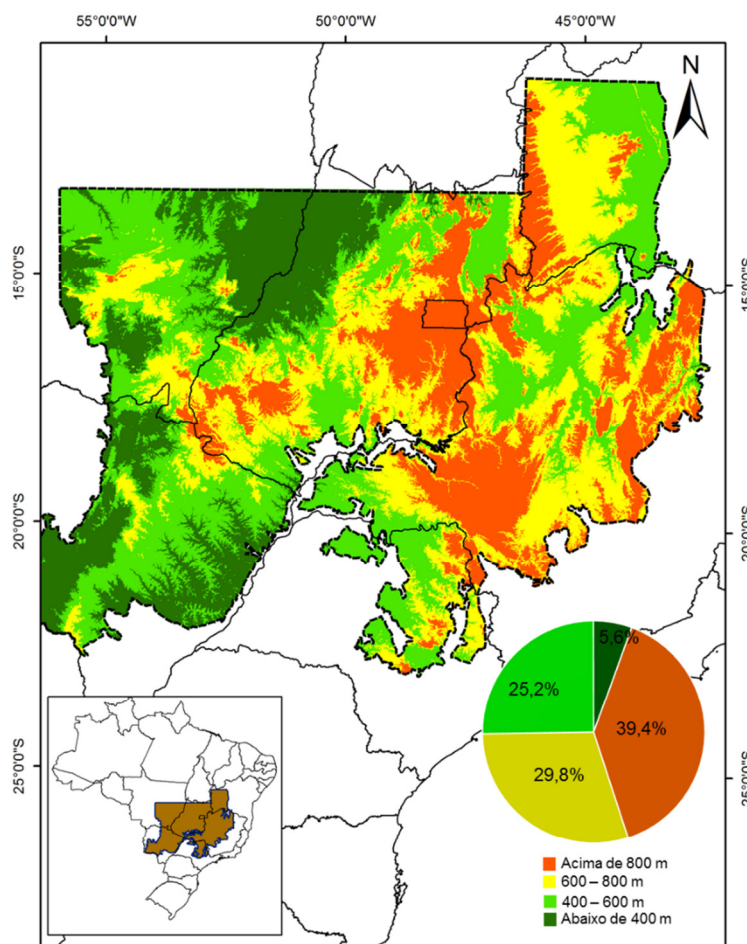


FIGURA 8. Distribuição de áreas segundo o Modelo Digital de Elevação e percentual por estrato de altitude na região de estudo. Fonte: adaptada de USGS (2016).

3.3.3 Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para trigo sequeiro no Brasil

O trabalho de reanálise do ZARC para trigo sequeiro no Brasil, conforme a metodologia padrão para os novos ZARCs do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), *softwares* e base de dados referenciais, foi coordenado pela Embrapa Informática Agropecuária, com sede em Campinas, SP. Os resultados primários (simulação de balanços hídricos, análise de frequência dos valores de ISNA, mapeamento e interpolação temática dos valores de ISNA), na forma de Planos de Informação (PIs) em grade, foram cedidos para uso, como informação primária básica na execução deste estudo. A seguir segue a descrição dos passos metodológicos utilizados, visto que os mesmos ainda não se encontram devidamente registrados na literatura.

A delimitação das áreas de risco e a definição dos períodos favoráveis para semeadura de trigo sequeiro, no bioma Cerrado, foram realizadas pela aplicação de um modelo de balanço hídrico da cultura, calculado para semeaduras decendiais ao longo dos 12 meses do ano (36 decêndios).

O modelo de balanço hídrico, adaptado à cultura de trigo sequeiro, foi utilizado nas simulações computacionais, considerando as seguintes variáveis:

a. Precipitação pluvial

Os dados de precipitação pluvial foram obtidos em séries históricas com, no mínimo, 15 anos de dados diários, registrados em 3.500 estações pluviométricas selecionadas no País, das redes da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), abrangendo estações convencionais e automáticas. Foram desconsideradas estações onde havia mais de 5% de dados faltantes. Nas demais, o preenchimento dos dados faltantes nas séries históricas foi realizado por meio de interpolação entre as estações mais

próximas, até o ano de 1999, sendo que, nos anos subsequentes, o preenchimento foi realizado com dados da *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), da base de dados do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (AGRITEMPO) (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).

b. Evapotranspiração potencial

Foi utilizado o método de Hargreaves & Samani (1985), adaptado e recalibrado, para a estimativa da evapotranspiração de referência diária para todo o Brasil. Para calibração foi utilizado o método Penman-Monteith (FAO) como referência.

c. Ciclo e duração das etapas fenológicas

Nesse estudo, os ciclos e a duração das etapas fenológicas das cultivares de trigo, foram ajustados para a região tropical, conforme segue (Tabela 3):

TABELA 3. Trigo tropical, duração do ciclo e das etapas fenológicas. ZARC Trigo sequeiro 2016/2017. Fonte: adaptada de BRASIL (2016).

Ciclo	Sem-Eme/Est ¹	Eme-Esp ²	Esp-M.Fis. ³	M.Fis-Col. ⁴
	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
105	10	45	40	10
115	10	50	45	10
125	10	55	50	10

⁽¹⁾ Semeadura - emergência/estabelecimento; ⁽²⁾ Emergência - espigamento; ⁽³⁾ Espigamento - maturação fisiológica; ⁽⁴⁾ maturação fisiológica - colheita.

d. Coeficiente de cultura (Kc)

Os valores médios de coeficiente de cultura (Kc) foram definidos para períodos decendiais, ajustados por meio de consulta à literatura específica, segundo o ciclo das cultivares, conforme Tabela 4.

TABELA 4. Coeficientes de cultura (Kc) da cultura de trigo tropical. ZARC Trigo sequeiro 2016/2017. Fonte: adaptada de Guerra *et al.* (2003); Allen *et al.* (1998).

DAS*	Decêndio	Grupo I	Grupo II	Grupo III
5	1	0,41	0,41	0,41
15	2	0,48	0,48	0,47
25	3	0,71	0,66	0,63
35	4	0,99	0,92	0,86
45	5	1,11	1,08	1,04
55	6	1,12	1,13	1,11
65	7	1,09	1,12	1,14
75	8	1,01	1,09	1,12
85	9	0,86	1,01	1,09
95	10	0,65	0,86	1,01
105	11	0,46	0,65	0,86
115	12	0,32	0,46	0,65
125	13		0,32	0,46
135	14			0,32

*DAS – dias após a semeadura

e. Capacidade de armazenamento de água disponível

Na definição da capacidade de armazenamento de água disponível (CAD) foram considerados os solos Tipo 1 (textura arenosa), Tipo 2 (textura média) e Tipo 3 (textura argilosa), com capacidade de armazenar 35 mm, 55 mm e 75 mm de água, respectivamente.

Todas as informações foram incorporadas ao modelo de balanço hídrico, para a realização das simulações necessárias para identificar os períodos favoráveis à semeadura, por meio do modelo SARRAZON® (Baron & Clopes, 1996).

Foram realizadas simulações para 36 decêndios de semeadura, espaçados em 10 dias, de janeiro a dezembro, sendo o primeiro período correspondente de 1º a 10 de janeiro, o segundo de 11 a 20 de janeiro e assim, sequencialmente, até o período trigésimo sexto decêndio, que corresponde de 21 a 31 de dezembro.

A partir dessas simulações foram calculados os valores médios do Índice

de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA) para cada data de semeadura. O ISNA é definido pela razão entre evapotranspiração real (ET_r) e a evapotranspiração máxima (ET_m), para cada etapa fenológica da cultura e para cada local representado por uma série histórica de dados pluviométricos. Para as séries locais de ISNA foram calculados os valores mínimos representativos das frequências de 80%, 70% e 60% de ocorrência (riscos de 20%, 30% e 40% de serem menores ou iguais aos valores mínimos calculados).

Na sequência, os valores de ISNA foram georreferenciados em função das coordenadas latitude e longitude e, com a utilização de um sistema de informações geográficas (SIG), foram interpolados pelo processo de krigagem, utilizando a rotina padrão *Package automap* do software R[®]. Assim, foram determinados os mapas temáticos que representam os períodos favoráveis de semeadura de trigo sequeiro na região tropical do Brasil, dentro dos limites e regiões consideradas aptas para o cultivo desse cereal.

No estudo de regionalização foram consideradas as seguintes classes favoráveis de valores mínimos de ISNA: a primeira de 0,60 na etapa 1, semeadura até o estabelecimento da cultura, e a segunda, 0,55 na etapa 3, enchimento de grãos (espigamento/floração-maturação). O impacto dos valores mínimos de ISNA na etapa 3, etapa de enchimento de grãos, foi avaliado ainda, para as mesmas frequências de ocorrências (80%, 70% e 60% - riscos 20%, 30% e 40%, respectivamente), assumindo: impacto elevado ($ISNA \leq 0,55$), impacto moderado ($0,55 > ISNA < 0,70$) e impacto baixo ($ISNA \geq 0,70$).

3.4 Definições das áreas com potencial para expansão do cultivo de trigo sequeiro no bioma Cerrado

As atividades que envolvem este estudo foram realizadas com o programa ArcGis 10.0® (ESRI, 2015). Foi utilizada a linguagem de programação visual para a construção de fluxos de trabalho de geoprocessamento (função *Model Builder*).

Todas as análises foram realizadas utilizando-se a projeção Cônica Equivalente de Albers, para longitude de origem -54°, latitude de origem -12° e paralelos padrão 1 e 2, respectivamente, nas latitudes 2° e -22°, que é empregada pelo IBGE para o cálculo da área territorial brasileira (IBGE, 2016).

Antes do cruzamento dos planos de informação (PIs), todos os PIs foram reclassificados de classes contínuas para classes qualitativas, ou seja, com intervalos de classes (1, 2, 3).

Para os mapas gerados pelo ZARC trigo sequeiro 2016/2017, foram criadas três classes qualitativas ($ISNA \leq 0,55$ - impacto elevado, $0,55 > ISNA < 0,70$ - impacto moderado e $ISNA \geq 0,70$ - impacto baixo).

A partir do MDE foram estratificados três faixas de altitude (400 - 600 m, 600 - 800 m e acima de 800 m), gerando três novos PIs, sendo um para cada estratificação, com a criação de duas classes qualitativas para cada PI (altitude fora do intervalo de estratificação e altitude dentro do intervalo de estratificação).

Da mesma forma, no PI das áreas agricultura anual, foram criadas duas classes, não agrícola e agrícola.

A seguir são listadas as etapas metodológicas aplicadas para a geração dos PIs de interesse:

3.4.1 Plano de informação área do bioma

Por meio do uso da ferramenta *Extract by Mask*, foi identificada o total de área de bioma Cerrado em cada uma das unidades da federação, que compõem a RHACT 4 (BA, MG, SP, MT, MS, GO e DF). As áreas calculadas foram comparadas com aquelas disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017b) para verificação do percentual da área de bioma Cerrado, em cada um dos estados e no distrito federal.

3.4.2 Plano de informação agricultura anual

O segundo levantamento foi o percentual de áreas classificadas como agricultura anual no bioma Cerrado pelo projeto TerraClass Cerrado (BRASIL, 2015), em cada unidade da federação da região de estudo, por meio do uso da ferramenta *Extract by Mask*.

3.4.3 Plano de informação agricultura anual estratificada por altitude

Nesta etapa foi realizado o cruzamento dos Planos de Informação (PIs) de agricultura anual do projeto TerraClass e os PIs do MDE, considerando altitudes, com a seguinte estratificação: 400 - 600 m; 600 - 800 m; e acima de 800 m. Esta etapa foi realizada por meio das ferramentas calculadora de *raster* e extração por máscara (*Raster calculator* e *Extract By Mask*). Foram extraídas as áreas para cada uma das unidades da federação que fazem parte da área de estudo (SP, MG, BA, MS, MT, GO e DF), levando em consideração os limites do bioma Cerrado em cada uma delas (Figura 9).

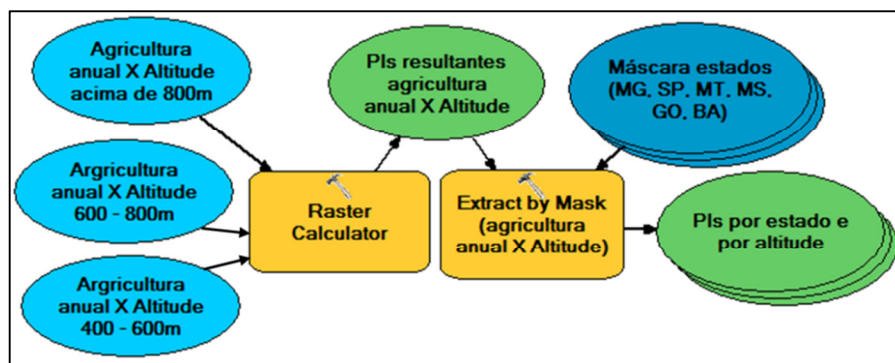


FIGURA 9. Esquema de cruzamento dos planos de informação do Modelo Digital de Elevação (MDE) estratificado por altitude de 400 - 600 m, 600 - 800 m e acima de 800 m com o plano de informação de agricultura anual e estratificação por unidade da federação, usando o programa ArcGis 10.0.

3.4.4 Plano de informação áreas favoráveis segundo o ZARC trigo

sequeiro 2016/2017

Para a delimitação e mensuração das áreas favoráveis para cultivo de trigo sequeiro, por meio dos mapas derivados do Zoneamento Agrícola de Risco Climático 2016/2017, foram considerados: i) três ciclos de trigo padrão para a região tropical do Brasil: 105, 115 e 125 dias, os quais correspondem à denominação pelo MAPA como grupos de cultivares I, II e III para a região tropical do Brasil, respectivamente; ii) três níveis de capacidade de armazenamento de água disponível no solo: 35 mm - arenoso; 55 mm - médio e 75 mm - argiloso; iii) seis épocas (decêndios) de semeadura de trigo sequeiro entre fevereiro e março, centradas nas datas de 5, 15 e 25 de fevereiro e 5, 15 e 25 março; e iv) três níveis de risco de deficiência hídrica na etapa 3: 20%, 30% e 40% (Figura 10).

Cultura	Ciclos/Grupos	Solos/CAD	Épocas de semeadura	Níveis de risco (déficit hídrico)
- Trigo	- 105 dias/I - 115 dias/II - 125 dias/III	- Arenoso/35 mm - Médio/55 mm - Argiloso/75 mm.	- Decêndio 4 - Decêndio 5 - ...Decêndio 9	- 20% - 30% - 40%

FIGURA 10. Parâmetros utilizados para delimitação e mensuração de áreas favoráveis para o cultivo de trigo sequeiro pelo ZARC Trigo sequeiro 2016/2017.

O procedimento inicial se constituiu na delimitação dos mapas temáticos gerados pela interpolação das simulações do ISNA no âmbito do projeto de Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) no Brasil. Esta delimitação da área de estudo foi realizada por meio da ferramenta de extração por máscara (*Extract by mask*) (Figura 11), utilizando como máscara de contorno os limites da área de estudo (RHACT 4 + bioma Cerrado).

Na sequência, com o uso da ferramenta de reclassificação (*Reclassify*), foi realizada a reclassificação dos mapas temáticos para os três níveis de risco (20%, 30% e 40%) e para as três classes de impacto associadas aos valores mínimos de ISNA na etapa 3 (impacto elevado – $ISNA \leq 0,55$, impacto moderado - $0,55 > ISNA < 0,7$ e impacto baixo – $ISNA \geq 0,70$), configurando três classes qualitativas (1, 2 e 3) (Figura 11).

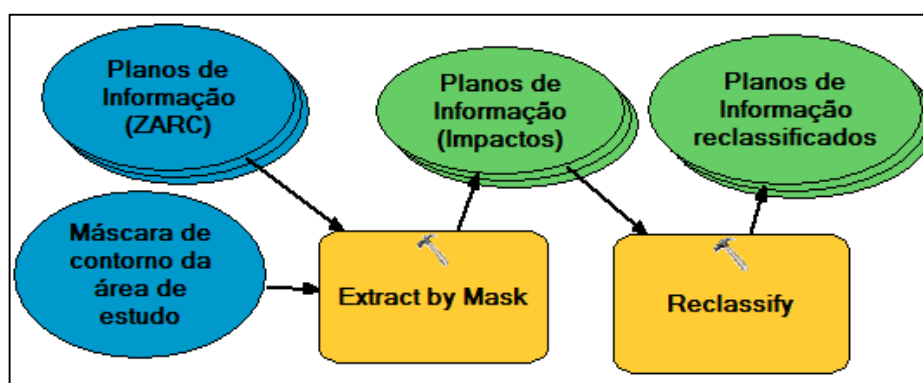


FIGURA 11. Esquema do recorte da área de estudo e reclassificação dos níveis de impacto gerados pelo ZARC trigo sequeiro 2016/2017, usando o programa ArcGis 10.0.

Desta forma, foi possível a mensuração da área em cada uma das classes segundo os ciclos (grupos), solos, períodos de semeadura e níveis de impacto, em relação aos mapas derivados do ZARC Trigo sequeiro 2016/2017.

3.4.5 Álgebra de mapas

Nesta etapa, com auxílio da ferramenta de álgebra de mapas e calculadora de raster (*Raster Calculator*), foram realizadas a mensuração e delimitação de áreas favoráveis ao cultivo de trigo sequeiro na região de estudo, conforme indicações do ZARC trigo sequeiro 2016/2017. Além disso, utilizando-se como critérios restritivos foram identificadas as áreas como agricultura anual pelo projeto TerraClass Cerrado e o Modelo Digital de Elevação (MDE), estratificado por faixas de altitude (400 - 600 m, 600 - 800 m e acima de 800 m).

A Figura 12 mostra um exemplo do cruzamento entre o PI agricultura anual do projeto TerraClass Cerrado e os PIs ZARC trigo sequeiro 2016/2017. A Figura 13 apresenta um exemplo do cruzamento dos PIs utilizados na Figura 12, porém agregando-se, ainda, o fator restritivo do MDE estratificado por faixa de altitude.

Ressalta-se que, nesta etapa, para os PIs ZARC trigo sequeiro 2016/2017, foram consideradas as seis épocas de semeadura (decêndios) entre fevereiro e março, os três grupos de cultivares (105, 115 e 125 dias), os solos com as três capacidades de armazenamento de água disponível (75 mm, 55 mm e 35 mm) e os três níveis de risco (20%, 30% e 40%).

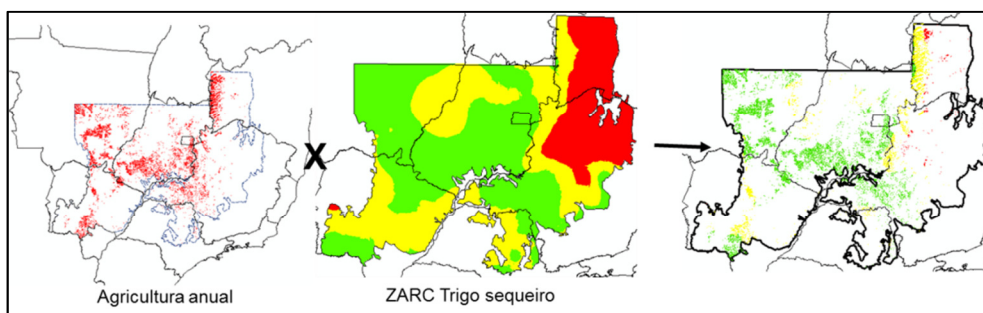


FIGURA 12. Exemplo do cruzamento do plano de informação agricultura anual do projeto TerraClass Cerrado com os planos de informação áreas favoráveis segundo o ZARC Trigo sequeiro 2016/2017. Fonte: adaptada de BRASIL (2015 e 2016).

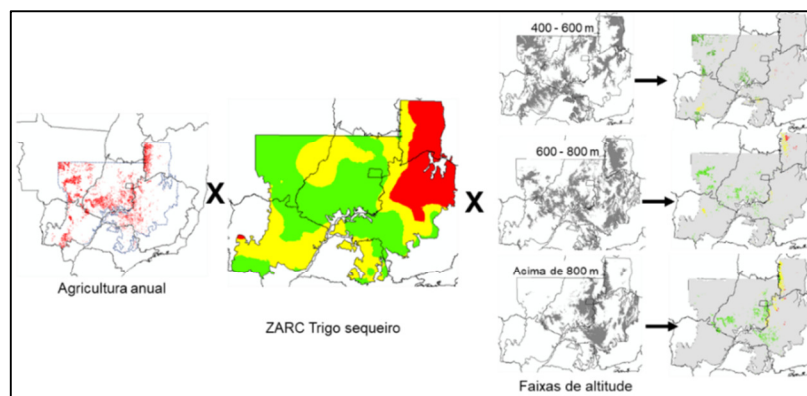


FIGURA 13. Exemplo do cruzamento dos planos de informação agricultura anual com planos de informação áreas favoráveis segundo o ZARC Trigo sequeiro 2016/2017 e planos de informação estratificados por faixas de altitude. Fonte: adaptada de BRASIL (2015 e 2016) e USGS (2016).

3.5 Definição dos níveis de impacto

Foram analisados os percentuais de área do bioma Cerrado em cada uma das unidades da federação, que fazem parte da RHACT 4, considerando os limites da área de estudo em relação à área total dos estados (IBGE, 2017b). O percentual da área de agricultura anual, por estado, e, também, por estratificação de altitude e por estado, foi determinado para cada nível de impacto presumido (baixo, moderado e elevado) segundo o valor mínimo de ISNA e cada classe de risco (20%, 30% e 40%). Quando não houve sobreposição/coincidência de áreas nos cruzamentos de PIs, estas foram consideradas áreas com outros usos, conforme definição de classes adotada pelo projeto TerraClass Cerrado.

Depois de geradas as classes, foram calculadas as áreas para cada classe e exportadas para tabelas, onde, utilizando o programa Microsoft Excel®, foram agrupadas por ciclo das cultivares, tipo de solo e período de semeadura (decêndio), identificando assim, para cada nível de risco presumido, a área favorável segundo os níveis de impacto (baixo, moderado e elevado). Para a análise dos resultados dos cruzamentos de PIs, foram geradas tabelas e gráficos em cada um dos períodos decendiais considerados favoráveis para semeadura de trigo sequeiro no bioma Cerrado (fevereiro e março).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados

4.1.1 Representatividade do bioma Cerrado na RHACT 4

Dos cerca de 204 milhões de hectares da área total do bioma, aproximadamente 126 milhões de hectares (74%) estão inseridos na RHACT 4. Em termos relativos, o bioma Cerrado abarca 76% da área total da RHACT 4, que abrange seis estados brasileiros e mais o Distrito Federal.

Quanto à distribuição territorial nas unidades da federação que fazem parte da RHACT 4, o bioma Cerrado abrange quase a totalidade de Goiás e Distrito Federal, cerca da metade de Mato Grosso do Sul e Minas Gerais e uma menor área na Bahia, Mato Grosso e São Paulo (Tabela 5).

TABELA 5. Distribuição da área do bioma Cerrado na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4) em relação à área total de cada unidade da federação (IBGE, 2017b).

Estado	Área bioma Cerrado na RHACT 4*	Área total do estado segundo IBGE*	Percentagem
MT	19.327	90.320	21%
MS	21.686	35.715	61%
SP	6.246	24.822	25%
GO e DF	32.433	34.589	94%
MG	33.405	58.652	57%
BA	12.742	56.473	23%

* Área em 1.000 ha

4.1.2 Percentual de áreas com agricultura anual na RHACT 4 e por unidade da federação

As áreas com agricultura anual, identificadas pelo projeto TerraClass Cerrado (BRASIL, 2015), inseridas nos limites demarcados pela RHACT 4, contabilizam a ocupação de 11,5 milhões de hectares no bioma Cerrado (Figura 14). Esta área, de certa forma, pode ser considerada aquela com potencial para a ocupação imediata pelo cultivo de trigo, uma vez que estão sendo utilizadas com as culturas de soja e milho (IBGE, 2017a; CONAB, 2017). Considerando que não são coincidentes as estações de crescimento do trigo sequeiro e dessas culturas, não há necessidade de expansão da fronteira agrícola, para além dos limites em uso com agricultura anual, seja sob o bioma Cerrado ou, mesmo, sob os biomas Mata Atlântica ou Floresta Amazônica. Acrescente-se, ainda, o potencial de intensificação do uso da terra, com a inserção do trigo sequeiro, como uma cultura intercalar de outono, aproveitando o final da estação de chuvas da região, após soja e milho precoces.

Quando se analisa a distribuição desses 11,5 milhões de hectares, verifica-se que a utilização na forma de agricultura anual acontece, em todas as unidades da federação abrangidas pelo bioma Cerrado e inseridas nos contornos da RHACT 4 (Figura 14). Dessa área, já em uso com agricultura anual, cerca de 31% estão localizadas em Goiás e Distrito Federal; aproximadamente 25% em Mato Grosso; 16,4% em Minas Gerais; 14,4% na Bahia e 11,7% no estado do Mato Grosso do Sul. Cabe destacar o caso do estado de São Paulo, onde apenas 1% da área foi classificada como uso em agricultura anual, estando o restante desse território ocupado, predominantemente, por culturas perenes (BRASIL, 2015). Também, frise-se, que, a abrangência da RHACT 4, no estado de São Paulo, é bem menor, comparativamente às demais unidades da federação.

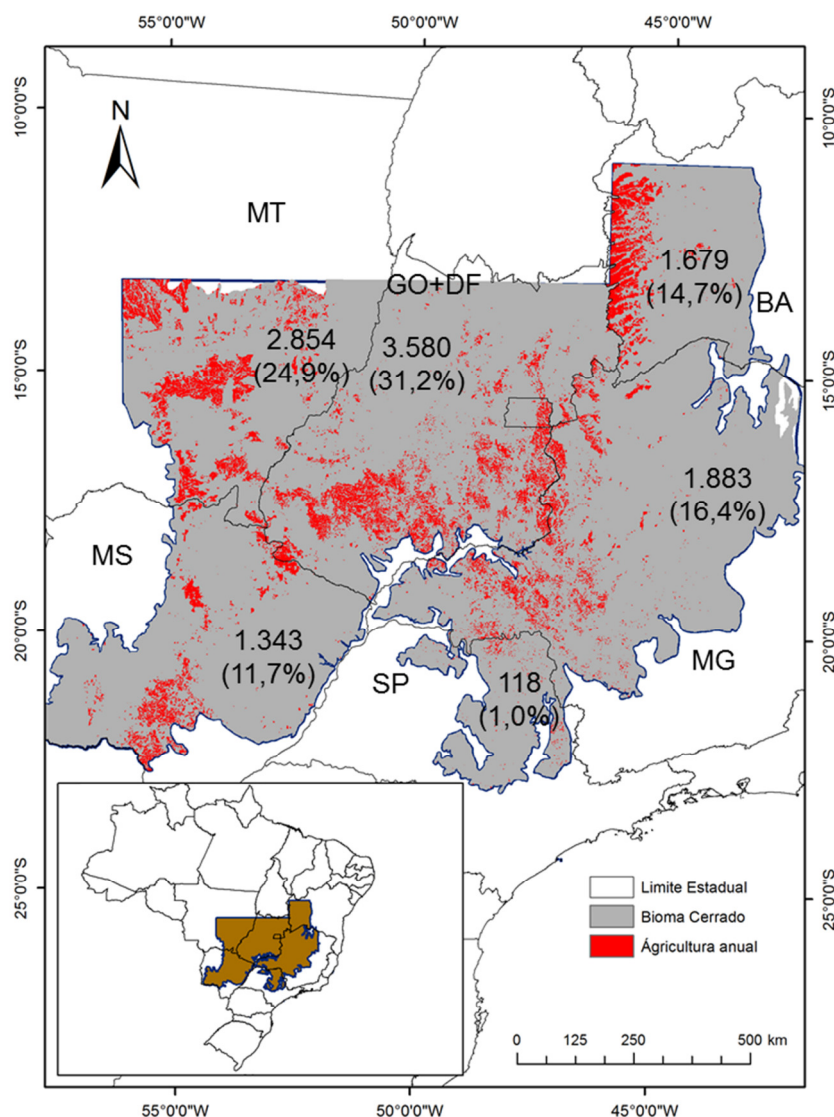


FIGURA 14. Localização e percentual de área (em 1.000 ha) com agricultura anual no bioma Cerrado, em cada unidade da federação, que faz parte da RHACT 4 Fonte: adaptada de Brasil (2015).

4.1.3 Percentual de área com agricultura anual estratificada por faixas de altitude e por unidade da federação

Para a quantificação da área potencialmente utilizável para cultivo de trigo sequeiro no bioma Cerrado e na RHACT 4 foram consideradas as experiências bem-sucedidas com este cereal na região. Em destaque, utilizou-se o critério empírico, validado pela prática (corrente na região) de definir áreas aptas para cultivo de trigo pelas faixas de altitude. Assume-se que, para trigo sequeiro, espécie de clima temperado, as áreas preferenciais devem estar acima da altitude

mínima de 800 metros. O fundamento desta escolha decorre da relação inversa que há entre altitude e temperatura do ar, com uma taxa média de variação vertical da temperatura do ar ao redor de -0,65 graus a cada 100 metros de elevação (Ometto, 1981). Assim, as áreas mais elevadas tendem a apresentar condições térmicas mais adequadas ao cultivo de trigo, sendo que, mesmo nestas altitudes, segundo Cunha *et al.*, (2006), recomenda-se a utilização de cultivares com baixa necessidade de frio e com insensibilidade ao fotoperíodo.

Na Tabela 6 observa-se que, da área total disponível para uso em agricultura anual, cerca de 40% está acima de 800 m de altitude (área preferencial). Se considerada uma altitude intermediária (600 a 800 m), seriam incorporados mais 3,4 milhões de hectares e, abaixo de 600 m, altitude que pode implicar em algumas restrições por temperatura elevada ao cultivo de trigo na região, seriam acrescentadas mais 3,6 milhões de hectares. Antecipa-se que a inclusão de áreas abaixo de 600 m, na região do Cerrado, pode exigir o aperfeiçoamento genético varietal, via a incorporação de maior tolerância ao calor nas cultivares de trigo a serem indicadas para cultivo na RHACT 4 (Cunha *et al.*, 2009; Bacaltchuk *et al.*, 2008).

TABELA 6. Área disponível para uso em agricultura anual (1.000 ha e percentual) por faixa de altitude na região do bioma Cerrado e RHACT 4.

Estrato de altitude	Área (1000 ha)	Porcentagem
Acima de 800 m	4.515	39,4%
Entre 600 e 800 m	3.412	29,8%
Entre 400 e 600 m	2.890	25,2%
Abaixo de 400 m	640	5,6%

Em relação à quantificação da área preferencial (acima de 800 m), em cada uma das unidades da federação que fazem parte do bioma Cerrado e estão contidas na RHACT 4 (Tabela 7), observa-se que mais de 70% dessas terras estão localizadas em Goiás, no Distrito Federal, em Minas Gerais e na Bahia,

totalizando cerca de 4 milhões de hectares com aptidão potencial para cultivo de trigo sequeiro.

Quando se analisa as terras situadas na faixa de altitude entre 600 a 800 m, que podem ser consideradas como de aptidão intermediária para o cultivo de trigo sequeiro, constata-se que, aproximadamente, 70% dessas áreas localizam-se nos estados de Mato Grosso, Goiás e da Bahia. Na condição menos favorável, pelo excesso de calor, abrangendo a faixa de altitude entre 400 e 600 m, verifica-se que metade das áreas está localizada no Mato Grosso.

TABELA 7. Área disponível para uso em agricultura anual (1.000 ha e percentual) por unidade da federação e por faixa de altitude na região do bioma Cerrado e RHACT 4.

Estado	Acima de 800 m		600 e 800 m		400 a 600 m	
BA	1.011	22,4%	637	18,7%	19	0,7%
MG	1.361	30,1%	312	9,1%	199	6,9%
GO e DF	1.921	42,6%	1.013	29,7%	542	18,8%
MS	113	2,5%	341	10,0%	677	23,4%
SP	8	0,2%	40	1,2%	69	2,4%
MT	101	2,2%	1.069	31,3%	1.384	47,9%
Total	4.515		3.412		2.890	

Fonte: adaptada de IBGE (2004); BRASIL (2015).

4.1.4 Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) na RHACT 4

Nos itens anteriores foram utilizados filtros ou critérios genéricos para a identificação, localização e quantificação de áreas com aptidão ao cultivo de trigo sequeiro no bioma Cerrado, sem envolver, contudo, os períodos de semeadura considerados favoráveis para este cereal na RHACT 4.

O ZARC, utilizado como ferramenta de gestão de risco em agricultura no Brasil por meio de análises agrometeorológicas espaço-temporais, foi introduzido neste trabalho para a delimitação de áreas por períodos de semeadura com menor risco climático.

Assim, na sequência, são apresentados os resultados, em que são considerados, como filtros sobrepostos aos anteriores, os períodos de semeadura favoráveis definidos pelo ZARC trigo sequeiro 2016/2017.

Foram muitas as tabelas e mapas gerados neste item de estudo, cujo conjunto completo de figuras está apresentado nos apêndices 1 a 24. O texto que segue está organizado de forma a destacar os resultados do ZARC trigo sequeiro 2016/2017, utilizando como variáveis: ciclo (105, 115 e 125 dias para cultivares dos grupos I, II e III), CAD do solo (Tipo 1 – 35 mm; Tipo 2 – 55 mm; e Tipo 3 – 75 mm), período de semeadura (5/fev, 15/fev, 25/fev, 5/mar, 15/mar e 25/mar – decêndios 4, 5, 6, 7, 8 e 9 respectivamente) para três níveis de risco (20%, 30% e 40%). Enfatiza-se que estes níveis de riscos foram definidos a partir do cálculo das probabilidades de não atendimento dos valores mínimos do Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA), na etapa 3 do ciclo do trigo (enchimento de grãos). Especificamente, no ZARC trigo sequeiro 2016/2017, foram considerados como aptos os locais cujos períodos de semeadura atenderam ao critério de favorabilidade para impactos moderado ($0,55 > \text{ISNA} < 0,70$) e baixo ($\text{ISNA} \geq 0,70$). Salienta-se que, até a safra 2015/2016, era adotado pelo MAPA somente o nível de 20% de risco (perdas presumidas em duas a cada 10 safras), para a indicação de municípios e períodos de semeadura favoráveis (Santos & Martins, 2016). Os níveis de risco de 30% e 40% são novidades que visam a fornecer maiores subsídios aos tomadores de decisão, que podem ser tanto agricultores como formuladores de políticas públicas ou agentes financeiros.

Pela análise geral das informações espaço-temporal contida no ZARC trigo sequeiro 2016/2017, observa-se que há maior área disponível ao cultivo de trigo via semeadura no primeiro decêndio de fevereiro, se considerados os dois níveis de impacto (baixo e moderado). Também, se verifica que a utilização de cultivares

de trigo do grupo I é a melhor estratégia, em se tratando de potencializar a área disponível para cultivo de trigo no bioma Cerrado.

Na Tabela 8 são apresentados os resultados para a CAD de 75 mm. Para esta capacidade de armazenamento de água disponível no solo, no caso das cultivares do grupo I, semeadura no primeiro decêndio de fevereiro e nível de risco mínimo de 40%, observa-se que cerca de 102 milhões de hectares se enquadram na classe favorável para o cultivo de trigo, considerando os níveis de impacto baixo e moderado. Por sua vez, para a semeadura no terceiro decêndio de março, considerando-se esses mesmo critérios, a área com aptidão favorável para o cultivo do trigo sequeiro se reduz para cerca de 12 milhões de hectares (10%).

Quando é considerado o nível de risco de 20%, dois anos em 10 com possibilidade de perdas presumidas, a disponibilidade de área para o primeiro decêndio de fevereiro passa a ser de aproximadamente 60 milhões de hectares, representando uma redução de 42%. Para o terceiro decêndio de março essa área reduz-se para 2,5 milhões de hectares.

Considerando ainda as cultivares do grupo I, quando separados os dois níveis de impacto (baixo e moderado), verifica-se que, para a semeadura no primeiro decêndio de fevereiro e nível de risco de 40%, são cerca de 57 milhões de hectares caracterizados por impacto baixo para cultura de trigo sequeiro. Mas, quando se adota o nível de risco de 20%, apenas 11% da área (13,6 milhões de hectares) apresentam aptidão favorável.

Para as cultivares do grupo II, comparados os períodos de semeadura no primeiro decêndio de fevereiro e no terceiro decêndio de março (somados os níveis de impacto baixo e moderado, no nível de risco de 40%), as áreas favoráveis passam de cerca de 80 milhões de hectares para, aproximadamente,

nove milhões de hectares. E, considerando-se o menor nível de risco (20%), para os mesmos períodos de semeadura (5/fev e 25/mar), observa-se que de aproximadamente 25 milhões de hectares passa para pouco mais de um milhão de hectares favoráveis.

TABELA 8. Área disponível (em 1.000 ha) para cultivares de trigo sequeiro dos grupos I, II e III, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40% e níveis de impacto por deficiência hídrica baixo e moderado, para solos com capacidade de armazenamento de água disponível de 75 mm (**CAD 75 mm**), em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 de fevereiro e 5, 15 e 25 de março.

Nível de risco (%)	Grupo I		Grupo II		Grupo III	
			Nível de impacto			
	Baixo	Moderado	Baixo	Moderado	Baixo	Moderado
5/fev						
20	13.681	46.162	303	24.565	-	5.554
30	31.671	59.932	5.741	51.427	676	23.366
40	57.117	45.630	20.281	61.490	4.613	45.132
15/fev						
20	195	18.897	124	3.936	84	3.142
30	3.752	44.305	1.004	16.361	1.307	5.924
40	16.827	57.049	4.430	36.811	2.646	18.090
25/fev						
20	-	3.265	4	3.159	-	2.953
30	1.051	13.404	896	6.420	593	5.461
40	4.481	34.671	2.721	15.979	2.460	9.559
5/mar						
20	315	3.523	71	3.541	-	2.411
30	1.907	5.763	1.176	6.323	618	5.634
40	3.327	16.473	3.270	10.639	2.962	8.596
15/mar						
20	73	3.266	-	2.239	-	1.454
30	1.739	7.064	1.129	5.868	370	4.443
40	4.296	11.559	3.561	8.655	2.296	6.884
25/mar						
20	-	2.470	-	1.310	-	393
30	1.603	6.516	446	4.318	-	2.178
40	4.866	7.931	2.341	6.460	414	4.808

Obs.: A distribuição espacial das áreas disponíveis pelos critérios do ZARC trigo sequeiro 2016/2017, para todos os decêndios, grupos de cultivares e solos pode ser encontrada nos apêndices 1, 2 e 3.

No caso das cultivares do grupo III, observa-se que, para o nível de risco de 40%, a área disponível, em semeaduras no primeiro decêndio de fevereiro, é de aproximadamente 50 milhões de hectares, considerando-se os dois níveis de impacto. No entanto, no nível de risco de 20%, nesse mesmo decêndio, a área disponível é de apenas 5,5 milhões de hectares, com nível de impacto moderado, e, zero, para o nível de impacto baixo.

Em resumo, quando são comparados os grupos de cultivares (grupos I, II e III) e também os períodos de semeadura, observa-se que quanto mais longo for o ciclo das cultivares (grupo III) e mais retardada for a semeadura, menor será a disponibilidade de área com aptidão favorável para o cultivo de trigo sequeiro no bioma Cerrado (Tabela 8).

A distribuição espacial das áreas potencialmente favoráveis, segundo o ZARC trigo sequeiro 2016/2017, em solos Tipo 3 - CAD de 75 mm e para semeaduras no primeiro decêndio de fevereiro (5/fev) é mostrada na Figura 15. A análise por nível de impacto (baixo, moderado e elevado) evidencia a variabilidade de disponibilidade de áreas entre os grupos de cultivares. Neste caso, destaca-se que, para cultivares do Grupo I (Figura 15 A, B e C), além da maior área favorável, também há maior área com nível de impacto baixo (em verde). Por outro lado, no que diz respeito às cultivares do Grupo III (Figura 15 G, H e I) evidencia-se uma menor área favorável ao cultivo de trigo sequeiro. Além disso, no nível de risco 20% (Figura 15 G), praticamente, toda a região de estudo se enquadra na classe de nível elevado de impacto por deficiência hídrica (em vermelho).

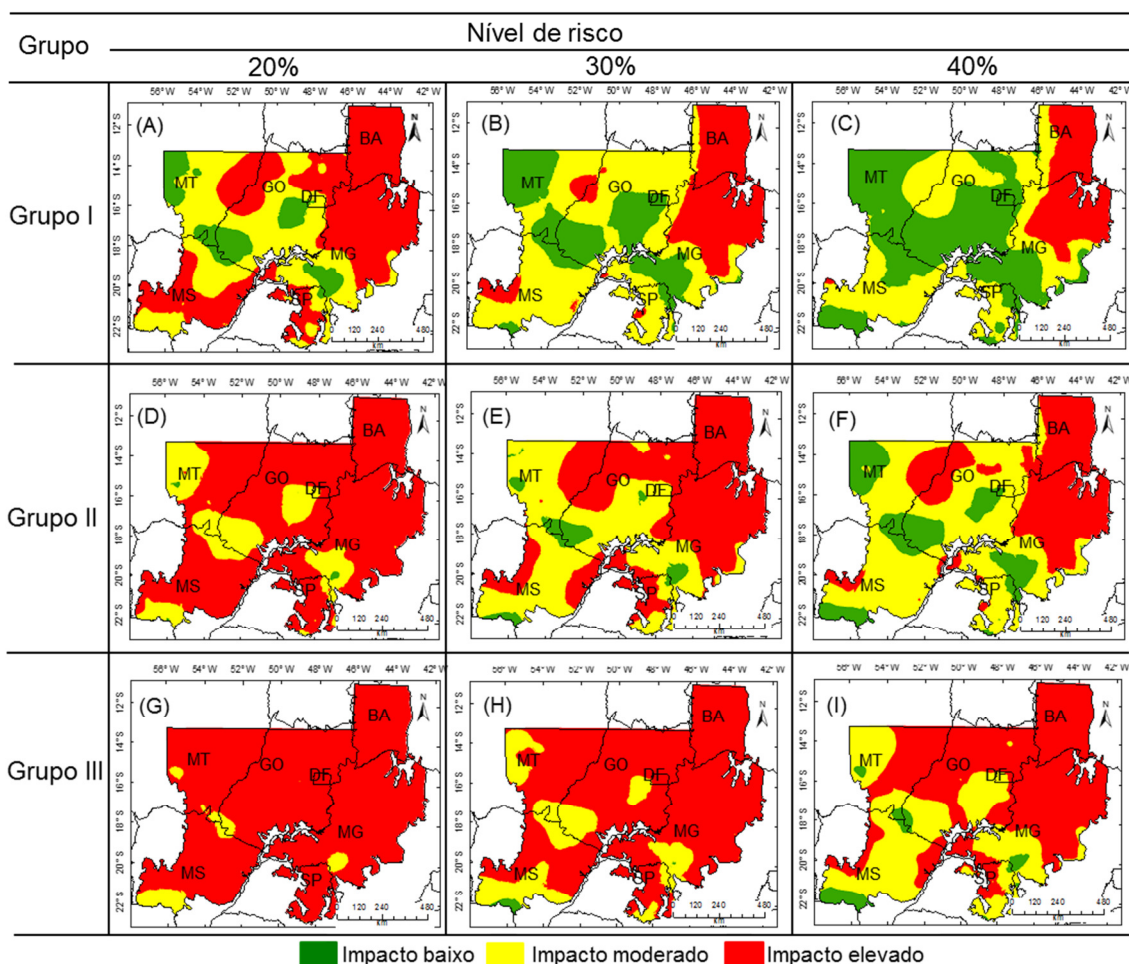


FIGURA 15. Regionalização de níveis de impacto por deficiência hídrica (baixo, moderado e elevado) para cultivares de trigo do Grupo I (A, B e C), Grupo II (D, E e F) e Grupo III (G, H e I), na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), no bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20% (A, D e G), 30% (B, E e H) e 40% (C, F e I), solos Tipo 3 - **CAD 75 mm** e período de semeadura 5 de fevereiro (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).

Para os solos Tipo 2, com capacidade de armazenamento de água disponível (CAD) de 55 mm (Tabela 9), pode-se observar um padrão similar ao verificado nos solos Tipo 3 - CAD 75 mm, porém com restrição da extensão de áreas favoráveis. Dos cerca de 126 milhões de hectares do bioma Cerrado na RHACT 4, há 84 milhões de hectares com aptidão favorável (impactos causados por deficiência hídrica baixo + moderado) para cultivo de trigo sequeiro no primeiro decêndio de fevereiro, para cultivares do Grupo I e nível de risco de 40%. Destes, apenas 16% (19,8 milhões de hectares) podem ser considerados como afetados por impacto causado por deficiência hídrica baixa ($ISNA \geq 0,70$). As

áreas de baixo impacto (em verde) para cultivares do Grupo I estão localizadas no Mato Grosso, nas proximidades de Brasília e no sul de Goiás, sul do Mato Grosso do Sul e na região sul de Minas Gerais (Figura 16 C). Para este mesmo nível de risco, 52% da área pode ser considerada como afetada por impacto moderado ($0,55 > \text{ISNA} < 0,70$, em amarelo). Se o nível de risco for reduzido para 20%, há apenas 44 mil hectares com impacto baixo (Tabela 9). Sobressai-se, nesse caso, que grande parte da região do bioma Cerrado é caracterizada por impacto de deficiência hídrica elevada para o cultivo de trigo sequeiro (Figura 16 A). Praticamente, não há área com aptidão favorável de impacto baixo para o cultivo de trigo sequeiro na região de estudo, para os três grupos de cultivares.

TABELA 9. Área disponível (em 1.000 ha) para cultivares de trigo sequeiro dos grupos I, II e III, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40% e níveis de impacto por deficiência hídrica baixo e moderado, para solos Tipo 2, com capacidade de armazenamento de água disponível de 55 mm (**CAD 55 mm**), em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março.

Nível de risco (%)	Grupo I		Grupo II		Grupo III	
			Nível de impacto			
	Baixo	Moderado	Baixo	Moderado	Baixo	Moderado
5/fev						
20	44	26.055	-	1.914	-	916
30	6.303	47.317	-	18.569	-	4.360
40	19.814	65.989	1.189	41.307	643	13.910
15/fev						
20	-	1.470	-	1.469	-	1.546
30	221	3.219	220	3.220	6	3.599
40	783	11.501	782	11.499	933	6.864
25/fev						
20	-	919	-	917	-	1.144
30	-	3.478	-	3.476	-	3.488
40	854	5.894	852	5.890	995	5.937
5/mar						
20	-	1.012	-	1.010	-	336
30	28	4.257	27	4.254	-	3.676
40	1.182	7.910	1.180	7.906	911	7.081
15/mar						
20	-	279	-	279	-	309
30	5	3.864	5	3.860	-	2.191
40	1.540	7.050	1.541	7.046	186	5.506
25/mar						
20	-	255	-	254	-	-
30	-	1.592	-	1.591	-	374
40	252	4.693	252	4.692	-	2.014

Obs.: A distribuição espacial das áreas disponíveis pelos critérios do ZARC trigo sequeiro 2016/2017, para todos os decêndios, grupos de cultivares e solos pode ser encontrada nos apêndices 4, 5 e 6.

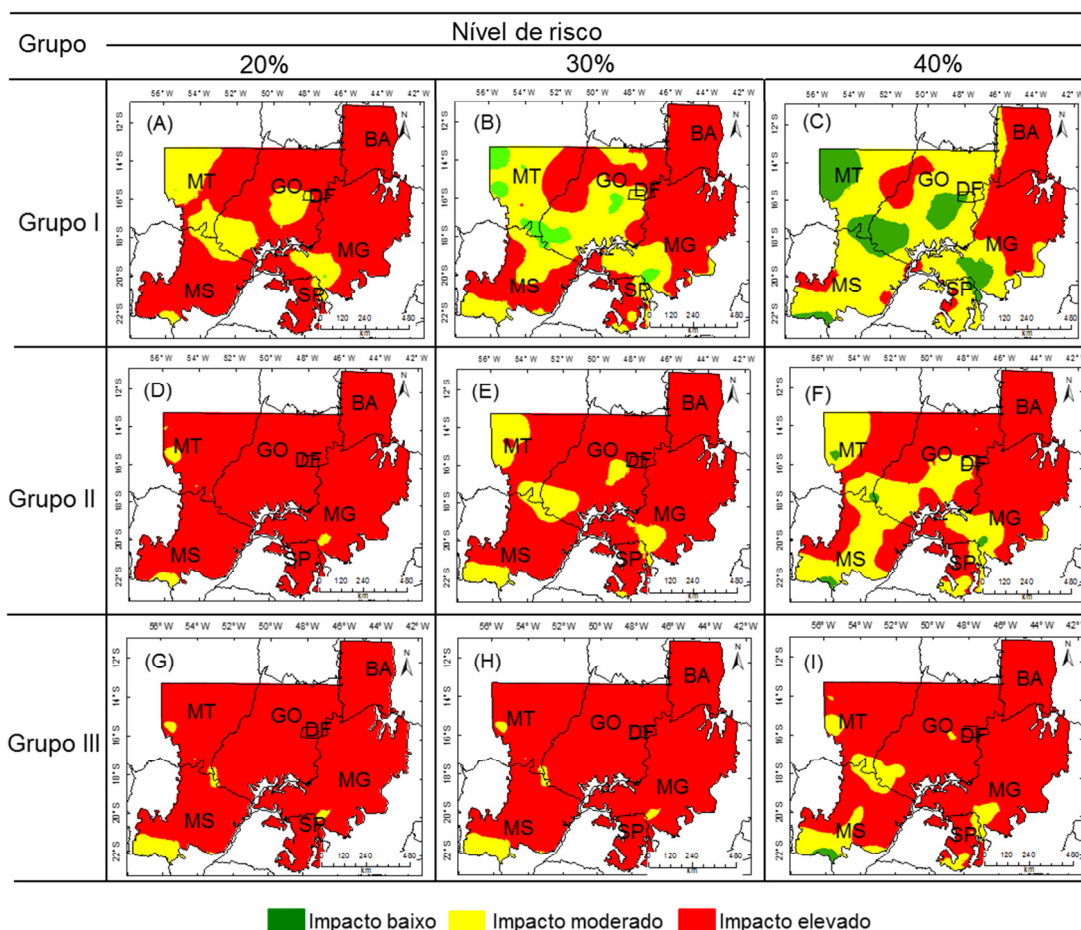


FIGURA 16. Regionalização de níveis de impacto por deficiência hídrica (baixo, moderado e elevado) para cultivares de trigo do Grupo I (A, B e C), Grupo II (D, E e F) e Grupo III (G, H e I), na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), no bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20% (A, D e G), 30% (B, E e H) e 40% (C, F e I), solos Tipo 2 - **CAD 55 mm** e período de semeadura 5 de fevereiro (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).

Nos solos Tipo 1, com capacidade de armazenamento de água disponível (CAD) presumida de 35 mm (Tabela 10), ocorre drástica redução das áreas com aptidão favorável para o cultivo de trigo sequeiro, sendo que as áreas sob impacto baixo tendem a desaparecer. Somente, há áreas com aptidão sob condição de nível de impacto moderado. Se considerado o nível de risco de 20%, para semeadura a partir do segundo decêndio de fevereiro (15/fev), não há área classificada como de aptidão favorável no nível de impacto baixo. Destaca-se, ainda, que as áreas favoráveis sob risco moderado estão localizadas no sul do Mato Grosso do Sul (apêndices 7, 8 e 9).

TABELA 10. Área disponível (em 1.000 ha) para cultivares de trigo sequeiro dos grupos I, II e III, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40% e níveis de impacto por deficiência hídrica baixo e moderado, para solos Tipo 1, com capacidade de armazenamento de água disponível de 35 mm (**CAD 35 mm**), em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março.

Nível de risco (%)	Grupo I		Grupo II		Grupo III	
			Nível de impacto			
	Baixo	Moderado	Baixo	Moderado	Baixo	Moderado
5/fev						
20	-	406	-	-	-	-
30	-	11.782	-	418	-	582
40	21	29.467	-	5.060	-	2.016
15/fev						
20	-	-	-	-	-	-
30	-	531	-	864	-	986
40	-	3.866	-	2.400	-	3.134
25/fev						
20	-	-	-	-	-	-
30	-	744	-	797	-	722
40	-	2.747	-	2.973	-	3.220
5/mar						
20	-	-	-	-	-	-
30	-	1.399	-	954	-	308
40	-	3.535	-	4.110	-	2.644
15/mar						
20	-	-	-	-	-	-
30	-	1.264	-	530	-	18
40	-	5.042	-	3.155	-	1.262
25/mar						
20	-	-	-	-	-	-
30	-	763	-	9	-	-
40	-	3.262	-	913	-	141

Obs.: A distribuição espacial das áreas disponíveis pelos critérios do ZARC trigo sequeiro 2016/2017, para todos os decêndios, grupos de cultivares e solos pode ser encontrada nos apêndices 7, 8 e 9.

Nas figuras 17, 18 e 19 são apresentadas, respectivamente para os três grupos de cultivares, as regionalizações dos níveis de impacto por deficiência hídrica para semeadura no primeiro (5/fev) e último (25/mar) decêndios analisados e para os solos tipos 1, 2 e 3, conforme a capacidade de

armazenamento de água disponível (CAD 75 mm, 55 mm e 35 mm). Mesmo admitindo-se o nível de risco mais elevado (40%), fica evidente que, independentemente da capacidade de armazenamento de água disponível dos solos e do grupo de cultivares, há maior disponibilidade de áreas favoráveis para trigo sequeiro no bioma Cerrado no primeiro período de semeadura (5/fev) do que no último período (25/mar). Também, para semeaduras de 5 de fevereiro, sobressai-se maior disponibilidade de área com nível baixo de impacto por deficiência hídrica (ISNA na etapa 3 $\geq 0,7$). Observa-se ainda, nessas figuras, uma associação direta de variação em área com a CAD dos solos (aumento da área favorável com o aumento da CAD) e inversa com o ciclo das cultivares (aumento da área favorável para cultivares de ciclo menor).

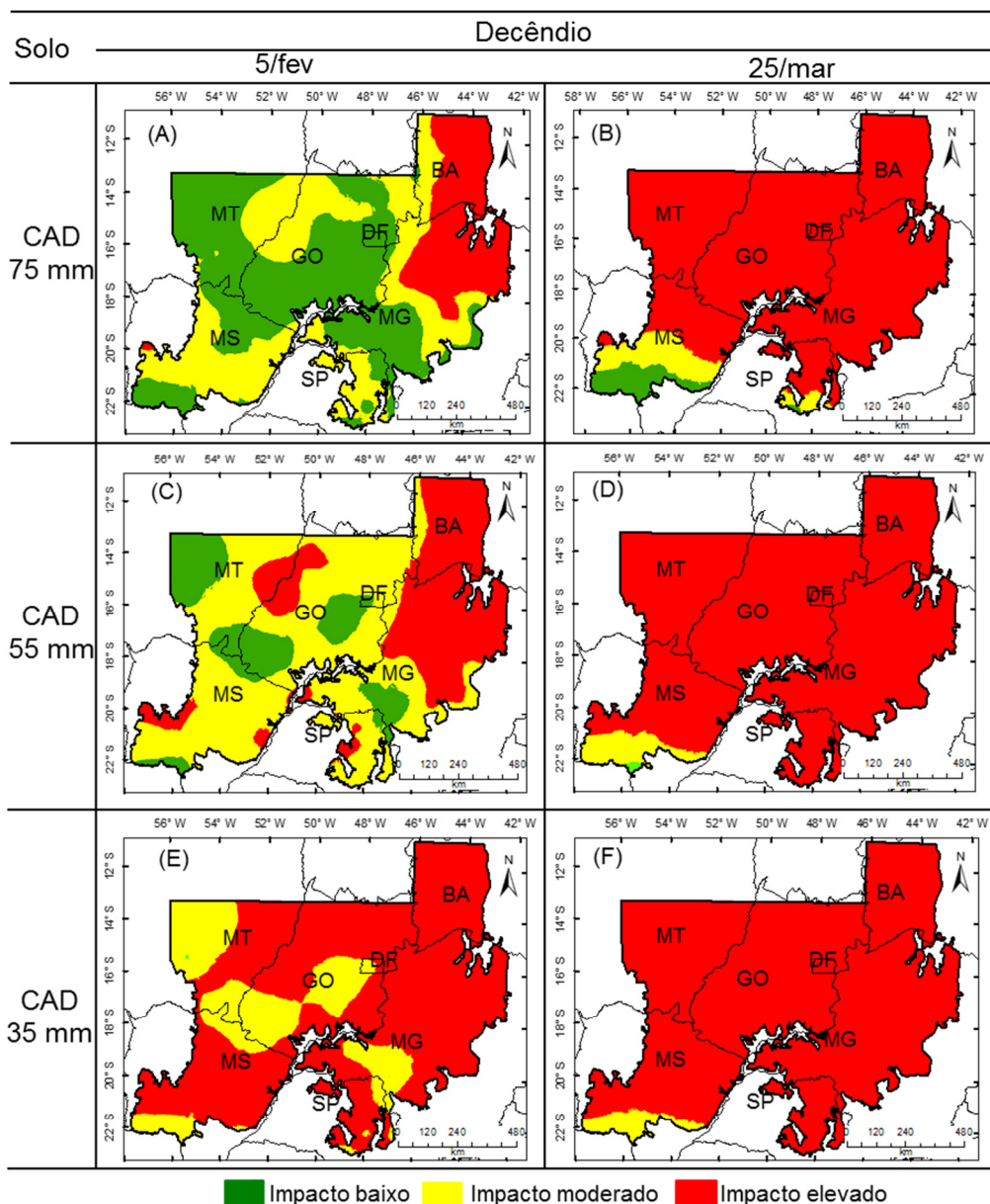


FIGURA 17. Regionalização de níveis de impacto por deficiência hídrica (baixo, moderado e elevado) para cultivares de trigo **Grupo I**, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), no bioma Cerrado, considerando nível de risco de 40%, solo Tipo 3 - CAD 75 mm (A e B), solo Tipo 2 - CAD 55 mm (C e D) e solo Tipo 1 - CAD 35 mm (E e F), períodos de semeadura 5 de fevereiro (A, C e E) e 25 de março (B, D e F) (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).

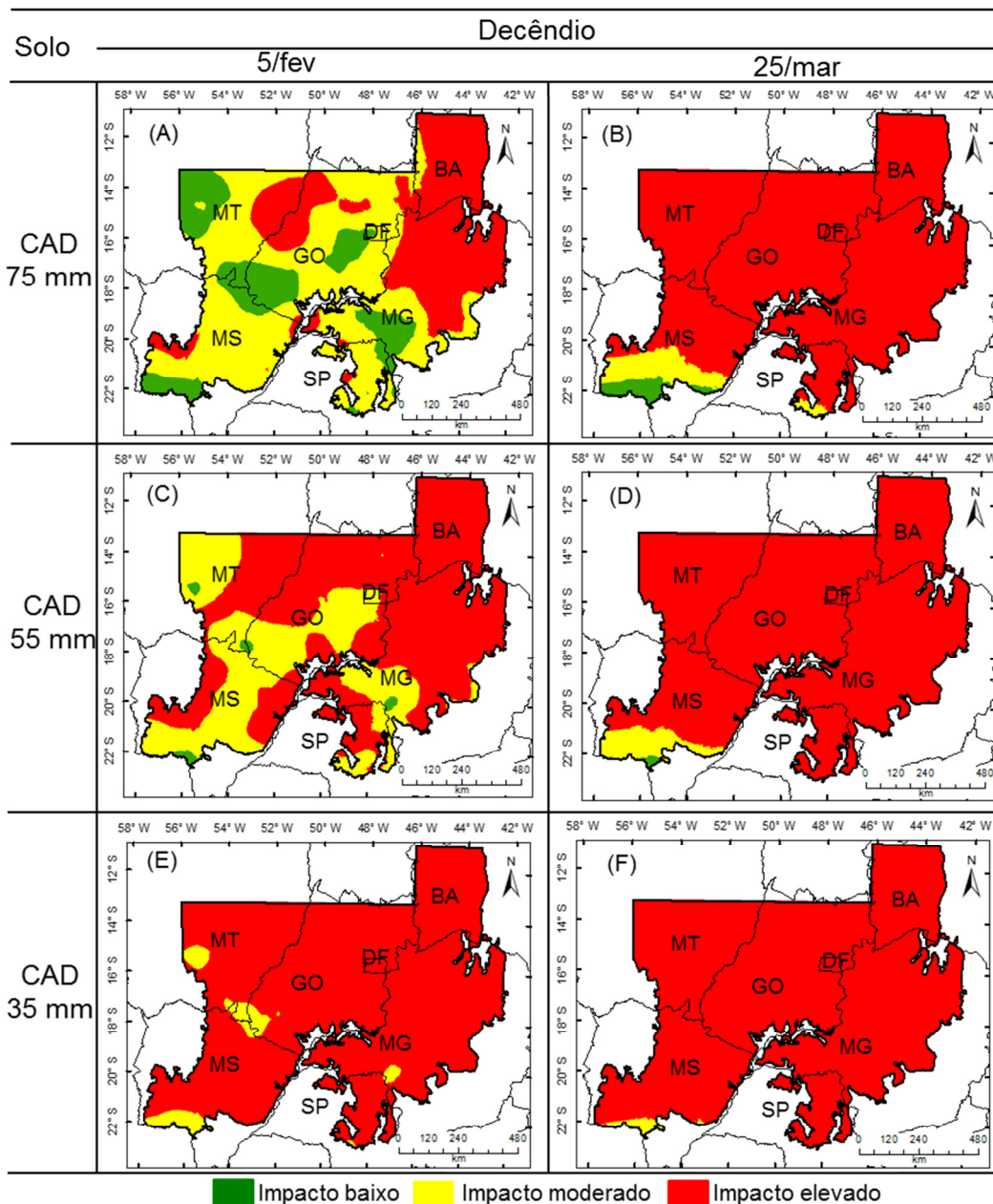


FIGURA 18. Regionalização de níveis de impacto por deficiência hídrica (baixo, moderado e elevado) para cultivares de trigo **Grupo II**, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), no bioma Cerrado, considerando nível de risco de 40%, solo Tipo 3 - CAD 75 mm (A e B), solo Tipo 2 - CAD 55 mm (C e D) e solo Tipo 1 - CAD 35 mm (E e F), períodos de semeadura 5 de fevereiro (A, C e E) e 25 de março (B, D e F) (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).

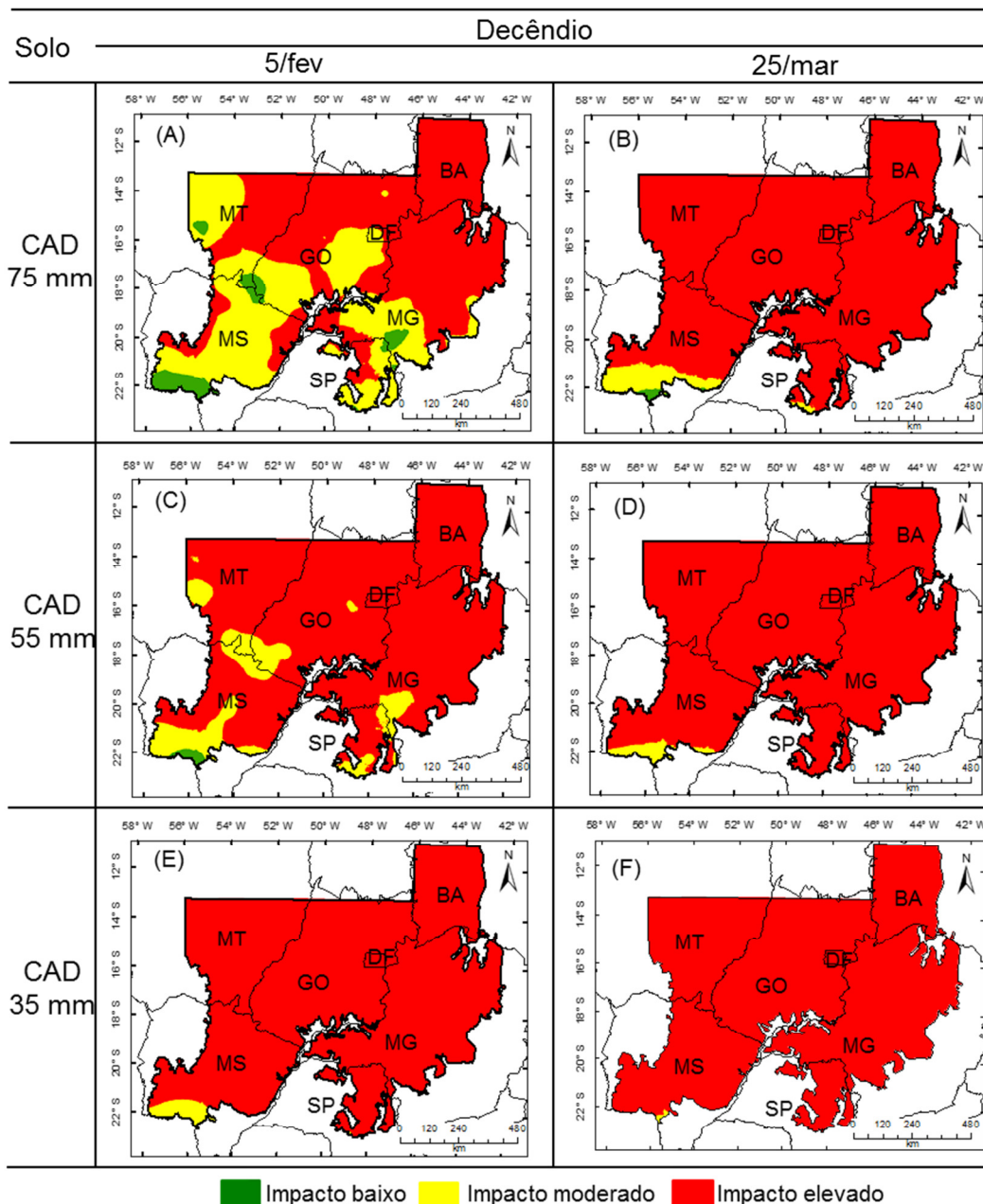


FIGURA 19. Regionalização de níveis de impacto por deficiência hídrica (baixo, moderado e elevado) para cultivares de trigo **Grupo III**, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), no bioma Cerrado, considerando nível de risco de 40%, solo Tipo 3 - CAD 75 mm (A e B), solo Tipo 2 - CAD 55 mm (C e D) e solo Tipo 1 - CAD 35 mm (E e F), períodos de semeadura 5 de fevereiro (A, C e E) e 25 de março (B, D e F) (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).

4.1.5 Cruzamento dos planos de informação (PIs) do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para trigo sequeiro no bioma Cerrado com áreas de agricultura anual

As áreas classificadas como em uso por agricultura anual pelo TerraClass (BRASIL, 2015), no bioma Cerrado da RHACT 4, contabilizam 11,5 milhões hectares. Deste total, quando sobreposto o ZARC trigo sequeiro 2016/2017, como previsível, resulta em redução acentuada de área classificada como favorável para o cultivo de trigo sequeiro.

Iniciando a análise pela situação mais favorável, com semeadura centrada em 5 de fevereiro, cultivares do Grupo I, solos Tipo 3 - CAD 75 mm e nível de risco de 40%, verifica-se 3,1 milhões de hectares (28%) podem ser classificadas como áreas favoráveis, com impacto moderado, e 7,9 milhões de hectares (69%) com impacto baixo (Tabela 11). Quanto à localização, as áreas classificadas como de impacto baixo, estão, principalmente, nos estados do Mato Grosso (2,6 milhões de hectares), sul de Minas Gerais (1,13 milhões de hectares), Goiás/DF (3,5 milhões de hectares) e sul do Mato Grosso do Sul (738 mil hectares), (Apêndice 10).

Quando se considera o nível de risco de 20%, a área favorável, com impacto baixo, reduz-se para cerca de 2,5 milhões de hectares (22%). Com isto, tem-se redução da área classificada como favorável com impacto baixo, e gradativo aumento da área favorável com impacto moderado. Em síntese, já existem áreas em uso com agricultura anual no bioma Cerrado, para as quais os impactos causados por déficit hídrico podem ser elevados, quando enquadradas nos critérios do ZARC trigo sequeiro 2016/2017.

No tocante às cultivares do Grupo I, e no caso de solos com menor capacidade de armazenamento de água disponível (Solo Tipo 2 - CAD 55 mm), a

partir do terceiro decêndio de fevereiro (25/fev), as áreas favoráveis, nos dois níveis de impacto causado por deficiência hídrica (moderado e baixo), não ultrapassam um milhão de hectares; estando essas áreas concentradas na região sul do Mato Grosso do Sul (Tabela 12 e Apêndice 10).

TABELA 11. Área disponível (em 1.000 ha) para cultivares de trigo sequeiro dos grupos I, II e III, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40%, e níveis de impacto por deficiência hídrica baixo e moderado, para solos Tipo 3 com capacidade de armazenamento de água disponível de **75 mm**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março, considerando o cruzamento dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 com as áreas classificadas como em uso por **agricultura anual**.

Nível de risco (%)	Grupo I		Grupo II		Grupo III	
			Nível de impacto			
	Baixo	Moderado	Baixo	Moderado	Baixo	Moderado
5/fev						
20	2.483	5.363	62	4.099	-	959
30	5.461	4.744	1.034	6.579	188	3.277
40	7.944	3.156	3.348	6.349	647	5.613
15/fev						
20	44	2.992	42	630	34	431
30	642	5.940	199	2.183	194	670
40	2.914	6.054	588	4.427	391	1.443
25/fev						
20	-	470	3	464	-	474
30	195	1.675	175	918	176	599
40	610	4.084	406	1.134	413	459
5/mar						
20	115	488	42	535	-	449
30	259	578	267	553	183	595
40	486	1.020	499	402	489	350
15/mar						
20	43	497	-	401	-	343
30	347	479	237	572	142	525
40	698	241	535	317	380	449
25/mar						
20	-	417	-	292	-	155
30	315	507	171	518	-	390
40	660	203	389	435	154	526

Obs.: A distribuição espacial das áreas disponíveis pelos critérios do ZARC trigo sequeiro 2016/2017 com áreas classificadas como em uso por agricultura anual para todos os decêndios, grupos de cultivares e solos Tipo 3 – CAD 75 mm pode ser encontrada nos apêndices 10, 11 e 12.

Por sua vez, em relação às cultivares do Grupo II, a maior parte das áreas favoráveis está sujeita à restrição hídrica. Há, neste caso, redução ainda maior das áreas com aptidão favorável para a cultura do trigo, que atingiu o máximo de 5,6 milhões de hectares, para semeaduras no primeiro decêndio de fevereiro, no nível de risco de 40% (Tabela 12), e 591 mil hectares, semeaduras em 25 de março. Novamente, essas áreas estão localizadas no sul do Mato Grosso do Sul (Apêndice 11).

Observa-se, ainda, que, no caso das cultivares do Grupo III, as áreas sob impacto baixo ($ISNA \geq 0,70$) chegam, no máximo, a 202 mil hectares com semeaduras centradas em 5 de março (Tabela 12).

Na comparação entre os grupos de cultivares (I, II e III), restringindo-se às áreas em uso por agricultura anual, também as cultivares do Grupo I apresentam as maiores áreas com aptidão favorável para a cultura do trigo no bioma Cerrado da RHACT 4 (tabelas 11 e 12).

Para solos com menor capacidade de armazenamento de água disponível, solos Tipo 1 - CAD de 35 mm (Tabela 13), exceto em semeaduras no primeiro decêndio, de cultivares do Grupo I, a quantidade de área favorável ao cultivo de trigo sequeiro é inferior a um milhão de hectares, para todos os grupos de cultivares, mesmo sob impacto de restrição hídrica moderado.

TABELA 12. Área disponível (em 1.000 ha) para cultivares de trigo sequeiro dos grupos I, II e III, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40%, e níveis de impacto por deficiência hídrica baixo e moderado, para solos Tipo 2 com capacidade de armazenamento de água disponível de **55 mm**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março, considerando o cruzamento dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 com as áreas classificadas como em uso por **agricultura anual**.

Nível de risco (%)	Grupo I		Grupo II		Grupo III	
			Nível de impacto			
	Baixo	Moderado	Baixo	Moderado	Baixo	Moderado
5/fev						
20	7	4.457	-	394	-	207
30	1.256	6.167	-	3.175	-	719
40	3.508	6.548	314	5.620	180	1.709
15/fev						
20	-	214	-	212	-	236
30	79	403	78	403	4	499
40	188	1.331	185	1.337	177	630
25/fev						
20	-	201	-	198	-	249
30	-	492	-	490	-	572
40	167	624	165	619	189	604
5/mar						
20	-	247	-	247	-	135
30	15	695	15	691	-	588
40	249	578	248	572	202	621
15/mar						
20	-	116	-	116	-	131
30	4	594	4	592	-	444
40	269	555	268	550	96	670
25/mar						
20	-	116	-	116	-	-
30	-	306	-	308	-	148
40	114	593	114	591	-	355

Obs.: A distribuição espacial das áreas disponíveis pelos critérios do ZARC trigo sequeiro 2016/2017 com áreas classificadas como em uso por agricultura anual para todos os decêndios, grupos de cultivares e solo Tipo 2 – CAD 55 mm pode ser encontrada nos apêndices 13, 14 e 15.

TABELA 13. Área disponível (em 1.000 ha) para cultivares de trigo sequeiro dos grupos I, II e III, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40%, e níveis de impacto por deficiência hídrica baixo e moderado, para solos Tipo 1 com capacidade de armazenamento de água disponível de **35 mm**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março, considerando o cruzamento dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 com as áreas classificadas como em uso por **agricultura anual**.

Nível de risco (%)	Grupo I		Grupo II		Grupo III	
			Nível de impacto			
	Baixo	Moderado	Baixo	Moderado	Baixo	Moderado
5/fev						
20	-	123	-	-	-	-
30	-	2.218	-	157	-	190
40	12	4.996	-	808	-	315
15/fev						
20	-	-	-	-	-	-
30	-	188	-	195	-	173
40	-	612	-	349	-	483
25/fev						
20	-	-	-	-	-	-
30	-	174	-	173	-	199
40	-	410	-	459	-	526
5/mar						
20	-	-	-	-	-	-
30	-	227	-	286	-	127
40	-	578	-	673	-	428
15/mar						
20	-	-	-	-	-	-
30	-	345	-	172	-	11
40	-	751	-	509	-	235
25/mar						
20	-	-	-	-	-	-
30	-	222	-	6	-	-
40	-	536	-	227	-	76

4.1.6 Cruzamento dos planos de informação (PIs) do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para trigo sequeiro no bioma Cerrado com áreas de agricultura anual e faixas de altitudes

Neste tópico foi feito o cruzamento dos PIs ZARC trigo sequeiro 2016/2017 com as áreas classificadas como em uso por agricultura anual (BRASIL, 2015) e com a faixa de altitude acima de 800 m. Salienta-se, novamente, que altitude, pela sua relação inversa com temperatura, foi introduzida como um fator favorável à adaptação da cultura do trigo nas regiões tropicais, servindo, nesse caso, como indicador indireto das potencialidades do ambiente da RHACT 4 – bioma Cerrado para o cultivo desse cereal, de origem temperada. Tem-se, na região alvo desse estudo, 4,5 milhões de hectares acima de 800 metros de altitude, estando essas áreas localizadas na mesorregião Extremo Oeste Baiano, nas mesorregiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, Oeste, Sul e Sudoeste Minas Gerais, nas mesorregiões do Sul e Leste de Goiás e Distrito Federal (IBGE, 2016).

Infere-se que, em solos Tipo 3, com CAD de 75 mm, a maior disponibilidade de área com nível de impacto baixo por deficiência hídrica, ocorre no primeiro decêndio de fevereiro, no Distrito Federal e nos estados de Minas Gerais e Goiás. E, no caso do Extremo Oeste Baiano, as áreas estão inseridas no nível de impacto moderado, admitindo-se o nível de risco de 40% (Apêndice 16). Quando são considerados os três grupos de cultivares e solos Tipo 3, com CAD de 75 mm, o retardamento da semeadura do trigo, promove redução gradativa da área considerada de impacto baixo, quanto mais longo for o ciclo das cultivares (Grupo III) e, por consequência, ocorre aumento dos níveis de impacto moderado e, principalmente, impacto elevado (apêndices 16, 17 e 18).

Mais uma vez, a comparação entre grupos de cultivares mostra que aquelas do Grupo I são, pelas quantidades de áreas favoráveis, as mais indicadas para o cultivo de trigo sequeiro no bioma Cerrado do Brasil Central. Para essas cultivares, são cerca de três milhões de hectares (26%) com nível de impacto baixo por deficiência hídrica e 1,45 milhões de hectares (13%) com impacto moderado, em semeaduras no primeiro decêndio de fevereiro, considerando-se o nível de risco de 40% (Tabela 14). No entanto, assumindo-se o nível de risco mais restrito (20%) adotado pelo MAPA até a safra 2015/2016, a área se reduz para 1,3 milhões de hectares (11%), com nível de impacto baixo por deficiência hídrica, e, acrescentados cerca de 1,4 milhões de hectares (12%), com nível de impacto moderado por deficiência hídrica (Tabela 14).

Para os grupos de cultivares II e III, observa-se uma redução ainda maior de área disponível para cultivo do trigo no bioma Cerrado da RHACT 4, com a concentração de áreas favoráveis, principalmente, em semeaduras no primeiro decêndio de fevereiro (Tabela 14). Esta redução da área favorável na escala temporal entre semeaduras de início de fevereiro e final de março é decorrente do impacto da deficiência hídrica durante o enchimento de grãos (antese-maturação fisiológica) desse cereal.

TABELA 14. Área disponível (em 1.000 ha) para cultivares de trigo sequeiro dos grupos I, II e III, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40%, e níveis de impacto por deficiência hídrica baixo e moderado, para solos Tipo 3 com capacidade de armazenamento de água disponível de **75 mm**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março, considerando o cruzamento dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 com as áreas classificadas como em uso por **agricultura anual** e faixa de altitude acima de **800 m**.

Nível de risco (%)	Grupo I		Grupo II		Grupo III	
			Nível de impacto			
	Baixo	Moderado	Baixo	Moderado	Baixo	Moderado
5/fev						
20	1.300	1.394	19	1.755	-	359
30	2.211	1.873	568	1.886	1	1.374
40	3.017	1.453	1.585	2.225	245	1.980
15/fev						
20	4	1.227	-	167	-	-
30	308	2.000	-	911	-	48
40	1.367	1.971	173	1.778	-	642
25/fev						
20	-	15	-	-	-	-
30	-	607	-	244	-	1
40	141	1.629	-	451	-	13
5/mar						
20	-	-	-	-	-	-
30	-	15	-	1	-	1
40	-	446	-	21	-	1
15/mar						
20	-	-	-	-	-	-
30	-	1	-	1	-	0
40	-	24	-	1	-	1
25/mar						
20	-	-	-	-	-	-
30	-	1	-	1	-	-
40	1	0	-	1	-	1

Obs.: A distribuição espacial das áreas disponíveis pelos critérios do ZARC trigo sequeiro 2016/2017 com as áreas classificadas como em uso por agricultura anual e faixa de altitude acima de 800 m, para todos os decêndios, grupos de cultivares e solos Tipo 3 - CAD 75 mm pode ser encontrada nos apêndices 16, 17 e 18.

Flexibilizando-se os critérios adotados inicialmente e admitindo-se o cultivo numa faixa de altitude entre 600 e 800 m, para solos com a maior capacidade de armazenamento de água disponível, Tipo 3 - CAD 75 mm (Tabela 15), observa-se

que podem ser alcançadas cerca de 3,2 milhões de hectares para cultivares do Grupo I (105 dias), no nível de risco de 40%, e cerca de 2,5 milhões de hectares, no nível de risco de 20%, nas semeaduras no primeiro decêndio de fevereiro (5/fev) e impactos por deficiência hídrica baixo e moderado. Ainda, também nessa situação, as áreas favoráveis ocorrem nas semeaduras dos dois primeiros decêndios de fevereiro e ficam concentradas, principalmente, em Mato Grosso e Goiás (Apêndice 19).

Para as cultivares dos grupos II e III podem ser atingidas, aproximadamente, 1,9 milhões de hectares em cada grupo, quando considerado o nível de impacto moderado no primeiro decêndio de fevereiro (apêndices 20 e 21).

Para os solos Tipo 2, com capacidade de armazenamento de água disponível de 55 mm, e cultivares do Grupo I, a área favorável pode atingir a soma de 2,8 milhões de hectares, no nível de risco de 40%, e, aproximadamente, 1,5 milhões de hectares, no nível de risco de 20%, em semeaduras no primeiro decêndio de fevereiro (Tabela 16), considerando os níveis de impacto baixo e moderado. Para os decêndios subsequentes, há uma acentuada redução de área com aptidão favorável para o cultivo de trigo sequeiro no bioma Cerrado da RHACT 4.

TABELA 15. Área disponível (em 1.000 ha) para cultivares de trigo sequeiro dos grupos I, II e III, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40%, e níveis de impacto por deficiência hídrica baixo e moderado, para solos Tipo 3 com capacidade de armazenamento de água disponível de **75 mm**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março, considerando o cruzamento dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 com as áreas classificadas como em uso por **agricultura anual** e faixa de altitude entre **600 e 800 m**.

Nível de risco (%)	Grupo I		Grupo II		Grupo III	
			Nível de impacto			
	Baixo	Moderado	Baixo	Moderado	Baixo	Moderado
5/fev						
20	545	1.956	43	1.191	-	218
30	1.969	886	327	2.091	55	710
40	2.458	783	808	1.963	184	1.844
15/fev						
20	26	729	25	65	20	42
30	188	1.933	55	482	55	20
40	610	2.056	153	1.176	61	346
25/fev						
20	-	62	1	61	-	61
30	55	389	55	59	45	23
40	159	1.060	61	244	61	28
5/mar						
20	45	17	16	45	-	61
30	58	14	55	13	43	21
40	62	206	61	40	61	9
15/mar						
20	16	46	-	60	-	59
30	60	10	54	15	33	29
40	62	66	62	18	60	9
25/mar						
20	-	61	-	56	-	33
30	55	13	38	24	-	61
40	62	24	60	8	33	30

Obs.: A distribuição espacial das áreas disponíveis pelos critérios do ZARC trigo sequeiro 2016/2017 com as áreas classificadas como em uso por agricultura anual e faixa de altitude entre 600 e 800 m, para todos os decêndios, grupos de cultivares e solos Tipo 3 - CAD 75 mm pode ser encontrada nos apêndices 19, 20 e 21.

TABELA 16. Área disponível (em 1.000 ha) para cultivares de trigo sequeiro dos grupos I, II e III, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40%, e níveis de impacto por deficiência hídrica baixo e moderado, para solos Tipo 2 com capacidade de armazenamento de água disponível de **55 mm**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março, considerando o cruzamento dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/17 com as áreas classificadas como em uso por **agricultura anual** e faixa de altitude entre **600 e 800 m**.

Nível de risco (%)	Grupo I		Grupo II		Grupo III	
			Nível de impacto			
	Baixo	Moderado	Baixo	Moderado	Baixo	Moderado
5/fev						
20	5	1.482	-	206	-	56
30	299	2.095	-	772	-	170
40	1.055	1.831	139	1.814	55	483
15/fev						
20	-	57	-	58	-	57
30	37	46	37	46	2	60
40	55	346	55	345	52	19
25/fev						
20	-	55	-	55	-	57
30	-	62	-	62	-	62
40	49	19	50	18	51	17
5/mar						
20	-	52	-	52	-	28
30	9	52	9	53	-	62
40	55	15	55	15	48	20
15/mar						
20	-	27	-	27	-	28
30	1	61	1	61	-	62
40	55	14	55	14	25	40
25/mar						
20	-	27	-	27	-	-
30	-	59	-	59	-	32
40	26	36	27	36	-	60

Por fim, admitindo-se a possibilidade de cultivo de trigo no bioma Cerrado da RHACT 4 em áreas com altitudes entre 400 e 600 metros (Tabela 17), há um alcance de, aproximadamente, 2,2 milhões de hectares, em regiões afetadas por nível de impacto de deficiência hídrica baixo, e cerca de 580 mil hectares, para o nível de impacto moderado, considerando nível de risco de 40% e nos solos Tipo

3 com capacidade de armazenamento de água disponível de 75 mm, cultivares do Grupo I e semeadura no primeiro decêndio de fevereiro. Observa-se que, para semeaduras em todos os decêndios considerados, existe área favorável para o cultivo de trigo, independentemente dos grupos de cultivares. Essas áreas estão localizadas no sul do Estado do Mato Grosso do Sul, onde o período de semeadura da cultura do trigo sequeiro inicia no terceiro decêndio de março e estende-se até o fim do mês de abril (BRASIL, 2016) (apêndices 22, 23 e 24).

TABELA 17. Área disponível (em 1.000 ha) para cultivares de trigo sequeiro dos grupos I, II e III, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40%, e níveis de impacto por deficiência hídrica baixo e moderado, para solos Tipo 3 com capacidade de armazenamento de água disponível de **75 mm**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março, considerando o cruzamento dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 com as áreas classificadas como em uso por **agricultura anual** e faixa de altitude entre **400 e 600 m**.

Nível de risco (%)	Grupo I		Grupo II		Grupo III	
			Nível de impacto			
	Baixo	Moderado	Baixo	Moderado	Baixo	Moderado
5/fev						
20	610	1.733	1	1.078	-	314
30	1.219	1.551	132	2.309	127	993
40	2.220	581	894	1.804	192	1.573
15/fev						
20	12	957	15	313	12	301
30	138	1.767	137	610	131	428
40	877	1.725	229	1.278	269	324
25/fev						
20	-	316	2	309	-	311
30	133	501	114	441	122	403
40	263	1.215	281	311	285	293
5/mar						
20	67	335	25	341	-	300
30	179	387	185	381	131	400
40	328	266	336	243	331	240
15/mar						
20	26	318	-	260	-	217
30	229	339	160	395	104	324
40	461	123	341	234	244	324
25/mar						
20	-	269	-	198	-	115
30	201	364	120	329	-	256
40	420	159	252	315	106	332

Obs.: A distribuição espacial das áreas disponíveis pelos critérios do ZARC trigo sequeiro 2016/2017 com as áreas classificadas como em uso por agricultura anual e faixa de altitude entre 400 e 600 m, para todos os decêndios, grupos de cultivares e solos Tipo 3 - CAD 75 mm pode ser encontrada nos apêndices 22, 23 e 24.

As figuras 20 e 21 mostram, respectivamente, para os níveis de risco de 40% e 20%, a distribuição espacial das áreas favoráveis para o cultivo de trigo

sequeiro na região de estudo, para semeaduras no primeiro decêndio de fevereiro (mais favorável), para os solos Tipo 3, com capacidade de armazenamento de água disponível de 75 mm (mais favoráveis), integrando os fatores restritivos a partir do cruzamento dos Pls do ZARC trigo sequeiro 2016/2017, em áreas classificadas como em uso por agricultura anual (A, B e C) e as faixas de altitude acima de 800 m (D, E, F), de 600 a 800 m (G, H, I) e de 400 a 600 m (J, K, L). Nas semeaduras em 5 de fevereiro, tem-se as maiores áreas favoráveis para cultivo de trigo sequeiro no bioma Cerrado da RHACT 4. Este padrão está associado à distribuição anual das precipitações pluviais nessa região do País, que, a partir do mês de abril, experimenta acentuada redução, coincidindo com o período mais sensível da cultura ao déficit hídrico (florescimento e enchimento de grãos) (Apêndice 25).

No cruzamento dos Pls (ZARC e agricultura anual) observa-se que para as cultivares do Grupo I (Figura 20 A), os cerca de 8 milhões de hectares (70%) classificados como favoráveis ao cultivo de trigo sequeiro, no nível de impacto por deficiência hídrica baixo ($ISNA \geq 0,7$), estão distribuídos por quase toda a região alvo deste estudo. Por sua vez, as áreas sob nível de impacto moderado, que somam 28%, estão localizadas, principalmente, na Bahia. Para cultivares do Grupo II (Figura 20 B), observa-se um aumento das áreas no nível de impacto por deficiência hídrica moderado, chegando a 55%. No caso das cultivares do Grupo III (Figura 20 C), 49% das áreas favoráveis encontram-se no nível de impacto moderado e apenas 6% no nível de impacto baixo. Para os grupos de cultivares II e III, as áreas da Bahia e Minas Gerais mostram impacto elevado.

Para a faixa de altitude acima de 800 m (Figura 20 D, E e F), observa-se que as áreas favoráveis estão localizadas, principalmente, nos estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia e no Distrito Federal. Para cultivares do Grupo I (Figura 20

D), a quantificação de área sob nível de impacto baixo corresponde a cerca de 3 milhões de hectares (26%) da área classificada como agricultura anual (BRASIL, 2015). Para as cultivares do Grupo II, este valor atinge cerca de 1,5 milhões de hectares, e, para cultivares do Grupo III, somente 245 mil hectares.

Uma vez admitida a faixa de altitude entre 600 e 800 m (Figura 20 G, H e I), as áreas com possibilidade de cultivo de trigo estão localizadas, principalmente, nos estados de Mato Grosso e Goiás, contabilizando cerca de 2,5 milhões de hectares para as cultivares do Grupo I (Figura 20 G), aproximadamente 800 mil hectares para as cultivares do Grupo II (Figura 20 H) e cerca de 180 mil hectares para as cultivares do Grupo III (Figura 20 I), no nível de impacto por deficiência hídrica baixo ($ISNA \geq 0,7$).

Especula-se, pelos dados obtidos para a faixa de altitude entre 400 e 600 m, que, com o desenvolvimento de cultivares de trigo mais tolerantes ao estresse térmico, poderiam ser acrescidos cerca de 2,2 milhões de hectares favoráveis para trigo sequeiro, principalmente no estado do Mato Grosso, para cultivares do grupo I e sob nível de impacto por deficiência hídrica baixo (Figura 20 J).

Para o nível de risco por deficiência hídrica de 40%, mais uma vez, conforme mostra a Figura 20, as cultivares do Grupo I apresentam a maior área disponível, considerando-se o nível de impacto por deficiência hídrica baixa ($ISNA \geq 0,7$). Observa-se, ainda, uma redução gradativa das áreas favoráveis, no nível de impacto baixo, e o aumento de áreas favoráveis sob níveis de impacto moderado e alto para as cultivares dos grupos II e III.

A Figura 21 mostra os resultados das análises considerando-se os mesmos fatores de restrição incorporados na Figura 20, porém, utilizando-se o nível de risco de deficiência hídrica de 20%, que, até a safra 2015/2016 era usado pelo

Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) como referencial do Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro).

A análise global da Figura 21 permite vislumbrar uma redução acentuada de área no nível de impacto por deficiência hídrica baixa, comparativamente à Figura 20, e aumento gradativo das áreas favoráveis para cultivo de trigo sequeiro sob níveis de impacto moderado e elevado, principalmente para cultivares do Grupo III (Figura 21 C, F, I e L), sendo que a quase a totalidade das áreas estão incluídas no nível de impacto elevado.

Para melhor exemplificar esta diferença entre os níveis de risco de deficiência hídrica de 40% e 20%, pode-se comparar os resultados para as cultivares do Grupo I, considerando, como critério de restrição, o resultado do cruzamento dos Pls ZARC versus agricultura anual (Figura 20 A e Figura 21 A). Verifica-se que, para o nível de risco de 40%, a área, sob impacto baixo, é de cerca de oito milhões de hectares, que, por sua vez, se reduz para aproximadamente 2,5 milhões de hectares quando foi considerado o nível de risco de 20%. Por outro lado, considerando-se o nível de impacto por restrição hídrica moderado, há uma inversão no dimensionamento dessas áreas, saindo de 3,3 milhões de hectares, no nível de risco de 40%, para um valor de aproximadamente 5,4 milhões de hectares, no nível de risco de 20%.

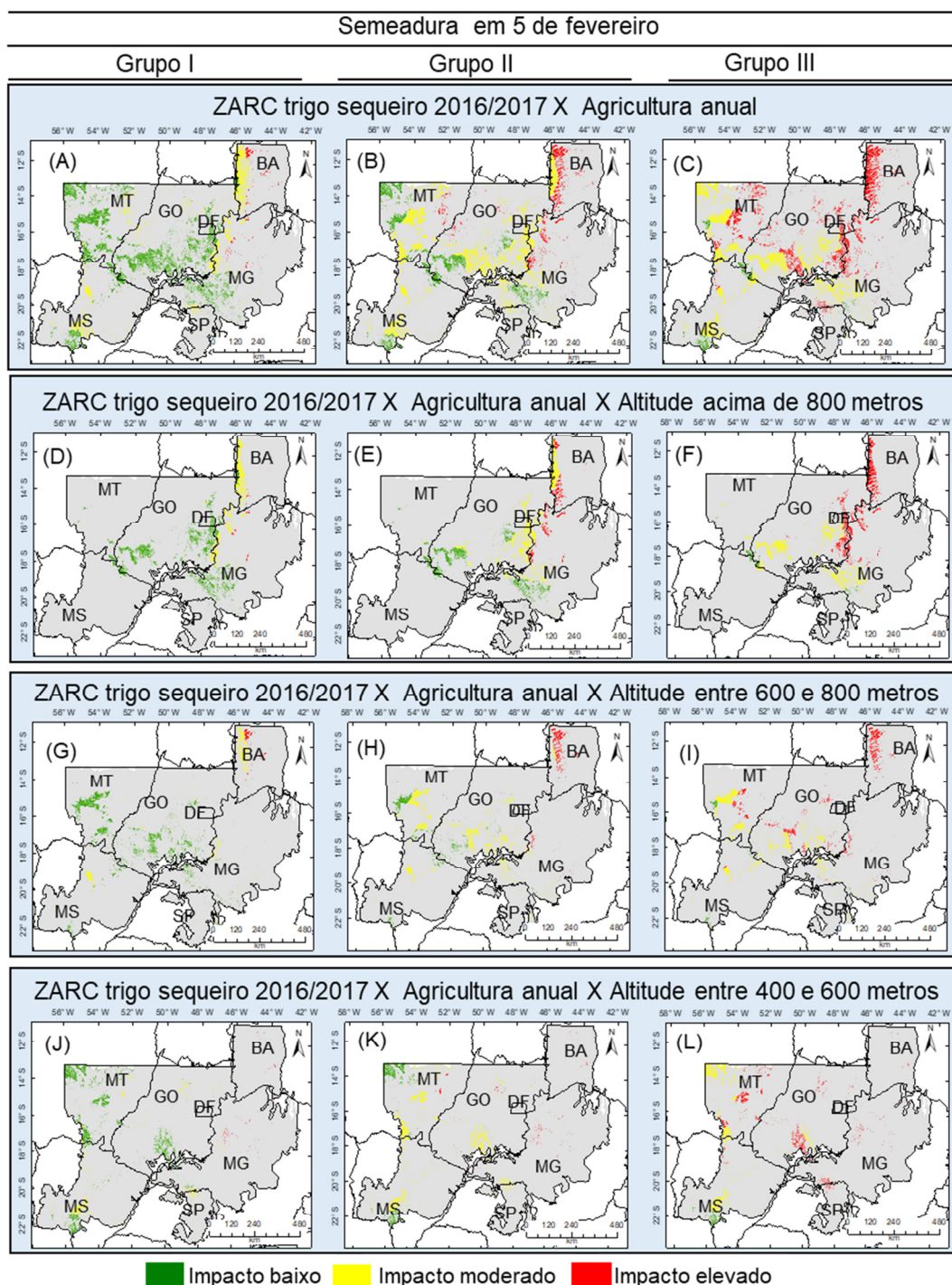


FIGURA 20. Distribuição espacial das áreas favoráveis para cultivares de trigo sequeiro, Grupo I (A, D, G, J), Grupo II (B, E, H, K) e Grupo III (C, F, I, L), considerando os níveis de impacto por restrição hídrica baixo, moderado e elevado, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, solos Tipo 3 com capacidade de armazenamento de água disponível de **75 mm**, nível de risco de **40%**, considerando o cruzamento dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 com a **agricultura anual** (A, B e C) e deste cruzamento com a **faixa de altitude** acima de 800 m (D, E e F), entre 600 e 800 m (G, H e I) e entre 400 e 600 m (J, K, L) para semeadura em 5 de fevereiro. Fonte: adaptada de BRASIL (2015 e 2016) e USGS (2016).

Semeadura em 5 de fevereiro

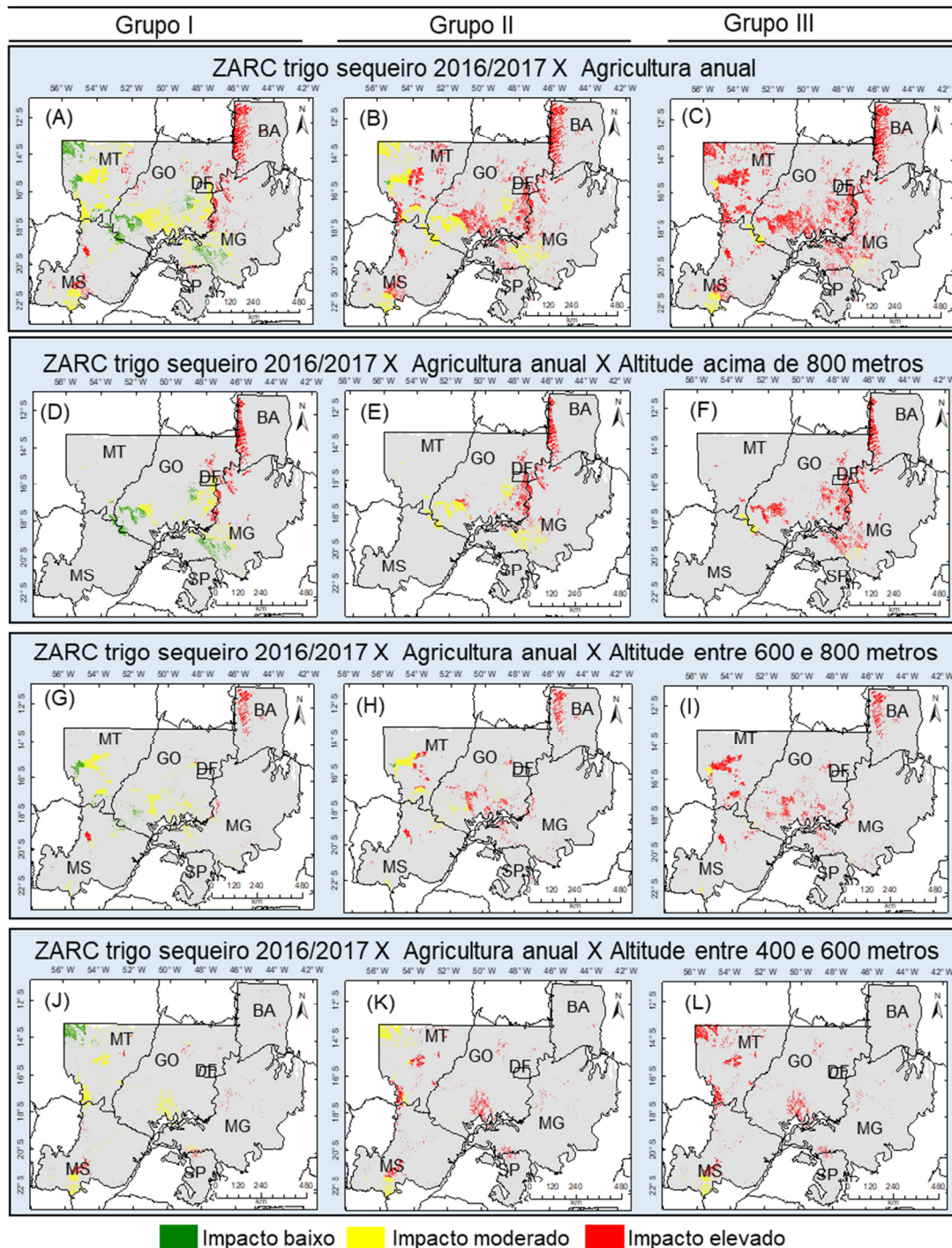


FIGURA 21. Distribuição espacial das áreas favoráveis para cultivares de trigo sequeiro, Grupo I (A, D, G, J), Grupo II (B, E, H, K) e Grupo III (C, F, I, L), considerando os níveis de impacto por restrição hídrica baixo, moderado e elevado, na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, solos Tipo 3 com capacidade de armazenamento de água disponível de **75 mm**, nível de risco de **20%**, considerando o cruzamento dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 com a **agricultura anual** (A, B e C) e deste cruzamento com a **faixa de altitude** acima de 800 m (D, E e F), entre 600 e 800 m (G, H e I) e entre 400 e 600 m (J, K, L) para semeadura em 5 de fevereiro. Fonte: adaptada de BRASIL (2015 e 2016) e USGS (2016).

4.2 Discussão

Os resultados apresentados nos itens 4.1.5 e 4.1.6, cujos dados e representações espaciais podem ser encontrados nas tabelas 11 a 17 e nas figuras 20 e 21, complementados pelos apêndices 10 a 24, em síntese, indicam que a área potencialmente favorável para o cultivo de trigo sequeiro, no bioma Cerrado, em locais onde, atualmente, há atividade de agricultura anual consolidada, é inferior à reportada em alguns dos estudos anteriores. Estes apontaram valores que variaram de 2,5 milhões de hectares, conforme Albrecht *et al.* (2007), até cerca de 4,0 milhões de hectares, segundo Mingot *et al.* (2014) e Souza & Ramalho (2001), ou mesmo até 24,9 milhões de hectares, de acordo com Farias *et al.* (2016). Tais resultados contrastam com os 1,3 milhões de hectares obtidos nesse estudo, quando considerado o nível de risco de 20%, cultivares do Grupo I, solos Tipo 3 - CAD 75 mm, nível de impacto baixo ($ISNA \geq 0,7$) e faixa de altitude acima de 800 m. Todavia, destaca-se que, com a alteração do nível de risco para 40%, a área encontrada alcançou cerca de 3 milhões de hectares (Tabela 14).

A discrepância entre os totais de áreas indicadas como potencialmente disponíveis para a expansão do cultivo de trigo sequeiro na região tropical dos biomas Cerrado e Mata Atlântica, no centro do Brasil, pode ser explicada pelo caráter mais geral dos trabalhos anteriormente referidos. O presente estudo utilizou três critérios de restrição para determinar área potencialmente favorável: áreas com adequação hídrica (ZARC), áreas com adequação térmica (faixas de altitude) e áreas de cultivo já consolidadas (áreas agrícolas utilizadas com agricultura anual).

Em relação à adequação hídrica, o estudo levou em consideração o detalhamento intrarregional de risco e de impacto climático causado por déficit hídrico, limitando-se, estritamente ao bioma Cerrado, no âmbito dos contornos definidos pela Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (BRASIL, 2008b e Cunha *et al.* 2011). Isto se justifica na medida em que se buscam novas áreas para o cultivo do trigo em regime sequeiro em uma região que apresenta uma estação seca bem definida, sendo muito distintas as precipitações ocorridas nos quadrimestres mais e menos chuvoso (Figura 22).

A execução do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para todo o território brasileiro demanda grande número de pontos de observação climática, a fim de se ter representatividade e detalhamento espacial adequados. Além disso, cada ponto de observação necessita séries temporais longas o suficiente para caracterizar a variabilidade climática local. No tocante às variáveis usadas nos cálculos de evapotranspiração, as séries históricas de dados disponíveis que mais se aproximam dessas condições são as de temperatura; enquanto dados de radiação solar, umidade relativa e vento são mais raros e recentes.

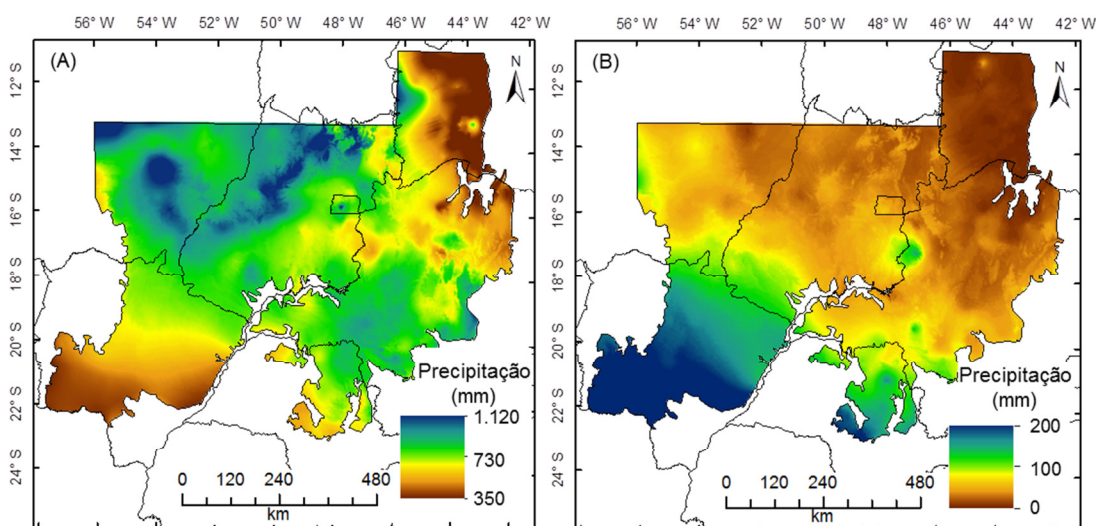


FIGURA 22. Distribuição espacial da precipitação pluvial acumulada na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, no quadrimestre mais chuvoso (novembro-fevereiro) (A) e quadrimestre mais seco (maio-agosto) (B). Fonte: adaptada de WORDCLIM (2016).

Nesse sentido, visando a atender à demanda operacional do Zoneamento Agrícola de Risco Climático do MAPA, o método de Hargreaves e Samani (1985) foi adaptado e recalibrado para a estimativa da evapotranspiração de referência diária para todo o Brasil. Para tanto, foi utilizado o método Penman-Monteith (FAO) como referência para análise e calibração desse método, que é baseado somente em temperatura.

Destaca-se que, no tocante à validação do ZARC, após a rodada das simulações e espacialização dos resultados, primeira aproximação, esses, em geral, são apresentados aos atores da cadeia produtiva do trigo, em cada estado indicado para cultivo, visando a avaliar a coerência em relação às experiências e conhecimentos de profissionais locais com a cultura. Em caso de os resultados mostrarem-se incoerentes, são reavaliados os parâmetros utilizados no modelo de risco da cultura e é realizada nova simulação e espacialização dos resultados.

Existem, por certo, incertezas relacionadas aos indicadores do ZARC trigo e de outras culturas no Brasil, especialmente relacionadas à escala de abrangência nacional dos resultados. Todavia, no caso de cultivos de sequeiro, especialmente nos graníferos, a metodologia de análise, embasada na penalização de rendimento por deficiência hídrica na etapa de enchimento de grãos, definida por valores do índice de evapotranspiração relativa (ET_r/ET_m), expressados pelo ISNA – Etapa 3 nos estudos de ZARC, pode ser considerada confiável e robusta. Há inúmeros estudos que usaram este indicador para avaliar os efeitos do ambiente, especialmente os causados por seca, sobre o rendimento dos cultivos, tanto no Brasil quanto em outros países. Exemplos e referências específicas por cultivos podem ser encontrados em Doorenbos & Pruitt (1977), Doorenbos & Kassam (1994), Allen *et al.* (1998) e Monteiro (2009), entre outros.

Em relação à adequação da condição térmica para o cultivo, as restrições foram indiretamente avaliadas por meio das faixas de altitude. Altitudes superiores a 800 m foram consideradas como as mais favoráveis, com base em diversos trabalhos que tratam deste tema. Segundo Souza & Ramalho (2001), um dos principais problemas que afeta o avanço da cultura de trigo na região do Cerrado brasileiro, e que exige avanços em pesquisa e desenvolvimento, está relacionado com o estresse causado por temperaturas elevadas. O estresse térmico, durante o ciclo da cultura do trigo, ao afetar negativamente vários processos fisiológicos das plantas, pode ocasionar a redução de rendimento de grãos. Neste sentido, os autores salientam a necessidade de criação de cultivares que possuam maior tolerância ao calor, para cultivo na região de clima tropical no Brasil.

Também neste sentido, Cargnin *et al.* (2006) e Souza & Ramalho (2001) avaliaram genótipos de trigo em condições de estresse térmico no verão e sob condições mais favoráveis no inverno. Houve redução em todos os caracteres avaliados, entre as duas épocas de semeadura, como duração do ciclo até o espigamento, altura de planta, peso médio de grãos e produção de grãos. Tais reduções foram determinadas, predominantemente, por efeito da temperatura elevada, tendo em vista que os valores de soma térmica foram praticamente iguais. Para Yang *et al.* (2002), os primeiros efeitos nas plantas de trigo relacionados aos estresses ocasionados por temperaturas elevadas são a maturidade precoce dos grãos e a senescência das plantas.

Estudos realizados em diversas regiões tropicais do mundo com a cultura do trigo apontam que, sob temperaturas acima de 30 °C durante o ciclo da cultura há aceleração do ciclo de desenvolvimento das plantas, conseqüentemente, o rendimento final da cultura pode ser negativamente influenciado (Zhong-hu &

Rajaram, 1994; Stone & Nicolas, 1994; Streck, 2005; Hossain *et al.*, 2012; Ribeiro *et al.*, 2012, entre outros).

Observa-se, na Figura 23, que temperaturas máxima do ar acima de 30 °C predominam em, praticamente, toda a área de estudo, especialmente nos meses de fevereiro e março. De forma geral, as regiões com maior adequação térmica para o cultivo desse cereal, estão, principalmente, nos estados de Minas Gerais, Goiás, no Oeste da Bahia e no Distrito Federal. Estas coincidem com as regiões de maior altitude, consideradas no presente estudo, corroborando, assim, a procedência da escolha deste fator de restrição ao cultivo de trigo na região de estudo.

Em relação às restrições hídricas e térmicas, em resumo, o cultivo de trigo sequeiro no bioma Cerrado da Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4, zona eminentemente de clima tropical, é marcada por temperaturas elevadas (Figura 23) e estações seca e úmida definidas (Figura 22). Assim, apesar da existência de experiências exitosas e a demarcação de áreas com aptidão favorável para o cultivo desse cereal pelo ZARC trigo sequeiro 2016/2017, ainda são necessários avanços da geração e inovação tecnológica, em genética vegetal e no manejo de cultivos, para que, efetivamente, possa se consolidar como a nova zona de expansão da produção de trigo, em moldes competitivo e sustentável, no Brasil.

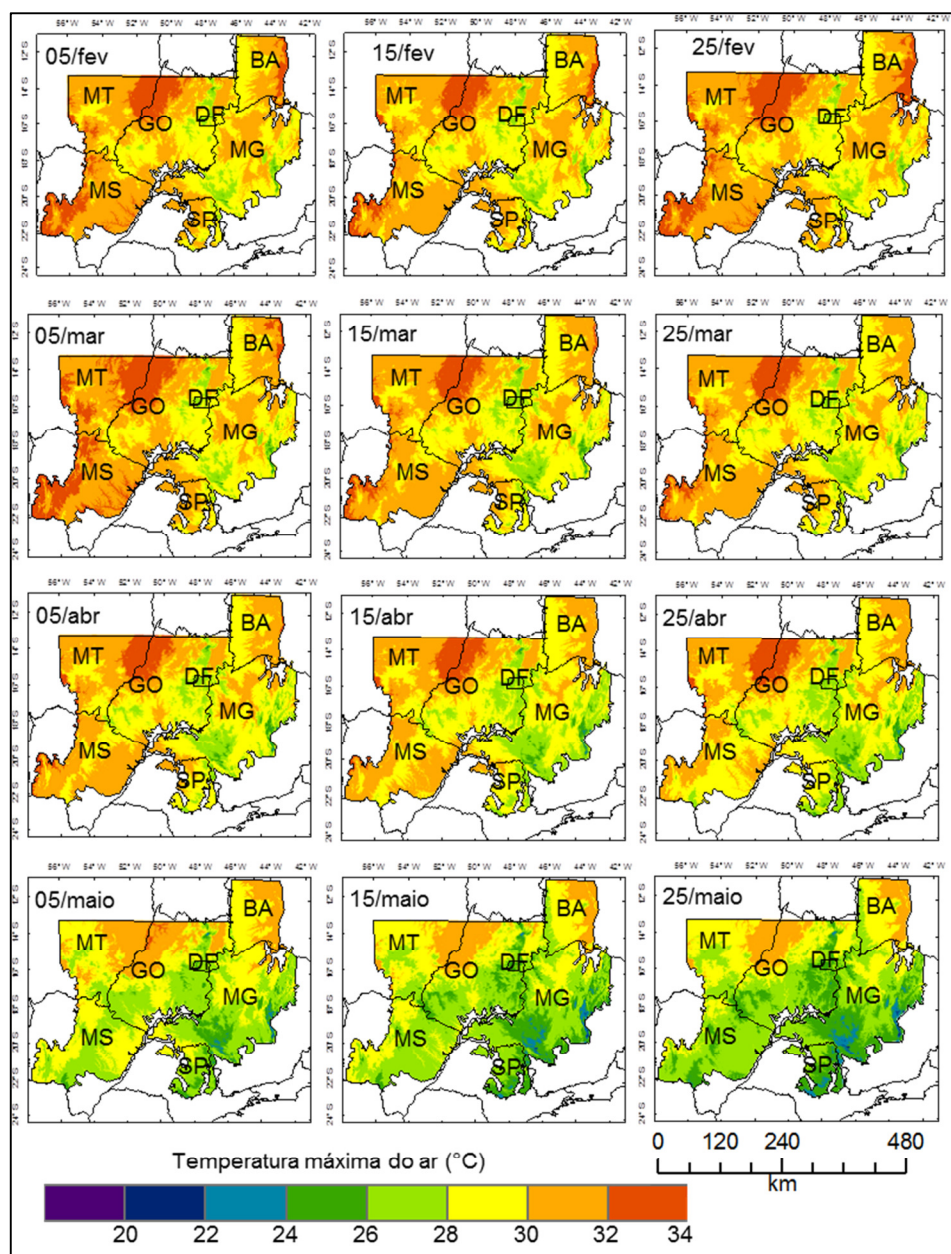


FIGURA 23. Distribuição espacial da temperatura máxima decenal do ar na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado. Fonte: adaptada de WORDCLIM (2016).

A última restrição imposta neste trabalho foi a inclusão de áreas que, em 2013, eram usadas em agricultura anual (BRASIL, 2015). Isso permite a intensificação do uso da terra, sem necessidade de expansão do cultivo de trigo para áreas ainda não economicamente exploradas.

Neste item dois aspectos devem ser mencionados, que são a qualidade do produto e a atualidade do mesmo. O primeiro aspecto se refere a qualidade da classificação (acurácia), a qual é de fundamental importância nos estudos de

produtos oriundos de técnicas de sensoriamento remoto. A comparação do resultado obtido com outros levantamentos, tomados como referência, permite identificar erros e visualizar sua distribuição espacial, além de identificar as classes que apresentam maior influência de mistura espectral (Centeno, 2009). Entre as ferramentas mais usadas para avaliar a precisão de uma classificação, entre o mapa de classificação derivado de imagens de satélite e os dados de referência, encontram-se a matriz de erro ou confusão e o índice Kappa (Miranda, 2011).

No âmbito do projeto TerraClass Cerrado (BRASIL, 2015), que foi usado para identificação de áreas usadas em agricultura anual nesse estudo, a avaliação do resultado do mapeamento realizado encontra-se detalhada no *site* do Ministério do Meio Ambiente <<http://www.mma.gov.br/publicacoes/biomas/category/62-cerrado>>. Na validação, feita através da matriz de contingência, foi alcançado um nível de concordância geral de 80,2% entre o mapeamento e a validação, demonstrando, assim, a confiabilidade do mapa gerado pelo projeto TerraClass Cerrado. Especificamente para a classe agricultura anual, o percentual de concordância foi superior a 80% (BRASIL, 2015).

A acurácia obtida corrobora o acerto da escolha metodológica de uso do projeto TerraClass Cerrado para a identificação de áreas atualmente em uso intensivo com agricultura anual e com aptidão ao cultivo de trigo safrinha no bioma Cerrado. Adicionalmente, reforçando a escolha, citam-se diversos estudos baseados em comportamento espectro-temporal de índices de vegetação, realizados nas mais diferentes regiões do Brasil, que também usaram métodos de classificação de mapeamentos diferentes e alcançaram índices de validação semelhantes. Entre esses, constam: Pinto *et al.* (2013), que obtiveram 84,7% no mapeamento da expansão de áreas agrícolas, no estado do Mato Grosso;

Coutinho *et al.* (2012), com 82,2% na classificação de agricultura anual no estado de Mato Grosso do Sul.

O segundo aspecto que deve ser abordado se refere à atualidade do produto disponibilizado pelo projeto TerraClass Cerrado, cujos dados foram obtidos da safra 2012/2013. Não se pode ignorar, portanto, que dado o caráter dinâmico da agricultura na região, há necessidade de um levantamento do uso e ocupação da terra no bioma Cerrado mais atualizado, de forma a possibilitar a identificação da expansão ou não de áreas agrícolas com culturas anuais. Neste sentido, outras fontes de informação ou produtos devem ser buscados. Um dos projetos com atuação em escala nacional que deve ser registrado, é o projeto MapBiomas, que disponibilizou em abril/2017 uma nova coleção de resultados, com dados anuais de cobertura e uso do solo, para o período de 2000 a 2016, e poderá aportar resultados relevantes para essa atualização.

Adicionalmente, a verificação do potencial de uso das áreas atualmente identificadas como pastagem, provavelmente, poderia aumentar substancialmente a extensão territorial disponível para o cultivo de trigo safrinha no bioma Cerrado.

Os resultados obtidos neste estudo podem indicar os caminhos que devem ser perseguidos pela pesquisa em melhoramento genético vegetal e no manejo de cultivos, visando a consolidação de uma triticultura tropical, efetivamente sustentável e competitiva, no Brasil. Para tal, sobressaem-se, como fundamentais, a criação de cultivares de trigo de ciclo precoce, a busca da tolerância à brusone para melhor explorar a semeadura no começo de fevereiro (aspecto referido por Coelho, 2013 e Maciel, 2011; por exemplo), a tolerância ao calor (destacada por Cargnin *et al.*, 2009 e Pimentel *et al.*, 2015) e maior exploração da disponibilidade de água no solo. Esta, pode ser alcançada pela ampliação da adoção de princípios de agricultura conservacionista no bioma

Cerrado (Denardin *et al.*, 2008) ou, pela via genética, com o uso de cultivares regionalmente adaptadas que, pela efetividade do sistema radicular explorem melhor em profundidade o perfil do solo, ou possuam mecanismos que lhes configurem maior eficiência no uso da água (Ribeiro Jr. *et al.*, 2006).

Em resumo, neste trabalho foi esforço para quantificar áreas com aptidão favorável para o cultivo de trigo sequeiro e identificar ambientes homogêneos, quanto ao risco de insucesso por deficiência hídrica no bioma Cerrado, tendo como base áreas agrícolas sob uso intensivo de agricultura anual, faixas de altitude e resultados gerados pelo ZARC 2016/2017. Há, na sequência, a necessidade de novos trabalhos, embasados em informações referentes ao uso e cobertura da terra mais recentes, bem como a utilização de novos parâmetros e indicadores de riscos potenciais, como é o caso da ocorrência de brusone, para a geração de resultados regionalmente mais detalhados.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados desse estudo, são possíveis as seguintes conclusões:

- a área potencialmente favorável para o cultivo de trigo sequeiro, no bioma Cerrado, onde há atividade de agricultura anual consolidada, uma vez considerados o detalhamento intrarregional de risco e níveis de impacto climático por deficiência hídrica, é inferior aos valores até então conhecidos;
- a área potencialmente favorável para o cultivo de trigo sequeiro, no bioma Cerrado, onde há atividade de agricultura anual consolidada, está associada com o período de semeadura, com o ciclo da cultivar, com o tipo de solo e com o nível de risco e de impacto por deficiência hídrica presumidos;
- a área potencialmente favorável para o cultivo de trigo sequeiro, no bioma Cerrado, onde há atividade de agricultura anual consolidada, é maior para a combinação que envolve semeadura no começo de fevereiro, cultivares de ciclo menor e solos com maior capacidade de armazenamento de água;
- as zonas que integram a melhor combinação entre risco e impacto climáticos, nas faixas de altitude acima de 800 m, para o cultivo de trigo sequeiro, no bioma Cerrado, onde há atividade de agricultura anual consolidada, estão localizadas principalmente em Goiás, Distrito Federal e Minas Gerais; e
- a ampliação ou redução dos limites da área potencialmente favorável para o cultivo de trigo sequeiro, no bioma Cerrado, onde há atividade de agricultura anual consolidada, está condicionada à adoção, isolada ou em combinação,

de níveis de risco (20%, 30% ou 40%) e/ou de impactos (baixo, moderado ou elevado) climáticos presumidos.

6 REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, J. A.; RIBEIRO JÚNIOR, W. Q.; SILVA, M. S. Cultivares de Trigo para o Cerrado. In: FALEIRO, F. G.; SOUSA, E. S. (Ed.). **Pesquisa, desenvolvimento e inovação para o Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 138 p.
- ALLEN, R. G. et al. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements**. Rome. 1998. (FAO Irrigation and Drainage. Paper 56)
- ÁLVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: EMBRAPA-CPAC, 1993. 274 p.
- ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2ª ed., Brasília: EMBRAPA-SPI/CPAC, 1998. 434 p.
- ASSAD, E. D. et al. Veranicos na região dos cerrados brasileiros frequência e probabilidade de ocorrência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 9, p. 993-1003, 1993.
- ASSAD, E. D.; ZULLO JUNIOR, J.; PINTO, H. S. Zoneamento Agrícola de riscos climáticos. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. (Org.). **Agricultura Tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília: Embrapa Informação tecnológica, 2008. v. 1, p. 1291-1318.
- BACALTCHUK, B. et al. Trigo no Brasil: os desafios de um país tropical. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. (Ed.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 1, p. 163-184.
- BARON, C.; CLOPES, A. **Sistema de Análise Regional dos Riscos Agroclimáticos (SARRA)**. Paris: CIRAD, 1996.
- BATISTELLA, M. **Plano de gestão estratégica para a Embrapa Monitoramento por Satélite (2009 - 2011)**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 28 p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Documentos, 81).
- BATISTELLA, M. et al. SOMABRASIL: **Sistema de Observação e Monitoramento da Agricultura no Brasil**. Campinas: Embrapa Monitoramento

por Satélite, 2012. 11 p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Comunicado Técnico, 29).

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 2, de 9 de outubro de 2008. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 out. 2008a.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 3, de 14 de outubro de 2008. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, seção 1, p. 31, 15 out. 2008b.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 246/2016, de 26 de dezembro de 2016. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, seção 1, p. 49-56, 28 dez. 2016a.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 247/2016, de 26 de dezembro de 2016. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, seção 1, p. 56-59, 28 dez. 2016b.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 245/2016, de 26 de dezembro de 2016. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, seção 1, p. 42-49, 28 dez. 2016c.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 243/2016, de 26 de dezembro de 2016. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, seção 1, p. 40-41, 28 dez. 2016d.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 242/2016, de 26 de dezembro de 2016. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, seção 1, p. 33-39, 28 dez. 2016e.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 241/2016, de 26 de dezembro de 2016. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, seção 1, p. 29-33, 28 dez. 2016f.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 248/2016, de 26 de dezembro de 2016. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, seção 1, p. 59-63, 28 dez. 2016g.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 240/2016, de 26 de dezembro de 2016. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, seção 1, p. 29, 28 dez. 2016h.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 249/2016, de 26 de dezembro de 2016. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, seção 1, p. 63, 28 dez. 2016i.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Zoneamento Agrícola de Risco Climático**. 2016. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/gestao-riscos/portarias/portarias>>. Acesso em: 02 jan. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra do Cerrado**: Projeto TerraClass Cerrado 2013. Brasília: MMA. 2015. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado/projeto-terraclass>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **O Bioma Cerrado**. [2017]. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>>. Acesso em: 13 jan. 2017.

BURROUGH, P. A. **Principals of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1986.194p.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). **Sistemas de Informações Geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed., rev. e ampl. Brasília: Embrapa-SPI / Embrapa-CPAC, 1998. p 3-11.

CÂMARA, G. et al. Análise Espacial e Geoprocessamento. In: DRUCK, S. et al. (Ed.). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004. p 20-52.

CARGNIN, A. et al. Tolerância ao estresse térmico em genótipos de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 41, n. 8, p. 1269-1276, 2006

CARGNIN, A. et al. **Progressos do melhoramento genético do trigo de sequeiro no cerrado de Minas Gerais entre 1976 e 2005**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009.17 p.

COELHO, M. A. O. Manejo das principais doenças e pragas na cultura do trigo em regiões tropicais do Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 34, n. 274, p. 60-70, maio/jun. 2013.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais**. 2ª ed. Curitiba: Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas/Universidade Federal do Paraná, 2009. 219 p.

CONAB. **Trigo Brasil**: série histórica de área plantada, produtividade e produção. 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_03_10_13_44_53_trigo_seriehist.xls>. Acesso em: 10 mar. 2017.

CONAB. **Projeto Geosafras**: série histórica de área plantada, produtividade e produção. 2016. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1079&t=2>>. Acesso em: 15 dez. 2016.

CONDÉ, A. B. T. et al. Trigo de sequeiro: potencialidades. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.34, n. 274, 2013 p.24-29.

COUTINHO, A. C. et al. Avaliação de metodologia para o mapeamento e monitoramento da agricultura brasileira. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 4., 2012, Brasília. **Anais...** Brasília-DF: Embrapa, 2012. p. 364-372.

CUNHA, G. R. et al. **Regiões de adaptação para trigo no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 10 p. (Embrapa Trigo. Circular técnica)

CUNHA, G. R. et al. Trigo. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, 2009. p. 279-293.

CUNHA, G. R. et al. Regiões para trigo no Brasil: ensaios de VCU, zoneamento agrícola e época de semeadura. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. (Org.). **Trigo no Brasil**: bases para produção competitiva e sustentável. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 27-40.

CUNHA, G. R. et al. Necessidades Edafoclimáticas. In: BORÉM, A.; SCHEEREN, P. L. (Ed.). **Trigo**: do plantio à colheita. Viçosa: Ed. UFV, 2015. p. 56-72.

DE MORI, C. Aspectos econômicos da produção e utilização. In: BORÉM, A.; SCHEEREN, P. L. (Ed.). **Trigo**: do plantio à colheita. Viçosa, MG: Ed. UVF, 2015. p. 11-34.

DENARDIN, J. E. et al. Sistema plantio direto: fator de potencialidade da agricultura tropical brasileira. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. (Ed.). **Agricultura tropical**: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 1, p.1251-1273.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (FAO. Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 24).

EMBRAPA. **Zoneamento agrícola de risco climático**: instrumento de gestão de risco utilizado pelo Seguro Agrícola do Brasil. 2008. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Zoneamento_agricola_000fl7v6vox02wyiv80ispcrruh04mek.pdf>. Acesso em: 15 out. 2016.

EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA; CEPAGRI/UNICAMP. **Agritempo**. 2016. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/>>. Acesso em: 18 set. 2016.

ESRI. ArcGis 10.0. **Extract by Mask (Spatial Analyst)**. 2016. Disponível em: http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Extract_by_Mask/009z0000002n000000/ Acesso em: 15 dez. 2016.

FARIAS, A. R. et al. **Potencial de produção de trigo no Brasil a partir de diferentes cenários de expansão da área de cultivo**. 2016. 40 p. (Embrapa Trigo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento online, 85; Embrapa Gestão Territorial. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 5).

FAVRIN, V. G. **As geotecnologias como instrumento de gestão territorial integrada e participativa**. 2009. 231 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de

Pós-Graduação em Geografia Humana, Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160 p.

FIGUEIREDO, D. C. Projeto GeoSafras Sistema de Previsão de Safras da Conab. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 14, n. 2, p. 110-120, 2005.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3ª ed. ampl. e atual. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 128 p.

GOMES, P. C. C. O conceito de região e sua discussão. In: CASTRO, I. E.; COSTA GOMES, P. C.; CORREA, R. L. **Geografia: conceitos e temas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 49-76.

GUERRA, A. F. et al. **Necessidade hídrica no cultivo de feijão, trigo, milho e arroz sob irrigação no bioma Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 15 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 100).

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. **Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature**. Chicago: American Society of Agricultural Engineering Meeting, 1985. (Paper 85-2517).

HOSSAIN, A. et al. Evaluation of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Under Heat Stress: Yield and Heat Susceptibility Index. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, Klimovsk, v. 8, n. 1, 2012. p.77-94.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Grupo de Coordenação de Estatísticas Agropecuárias - GCEA/IBGE, DPE, COAGRO. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**, jan. 2017a. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo/lspa_201701.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/lspa_201701.pdf)>. Acesso em: 10 fev. 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área territorial brasileira**. 2016. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm>. Acesso em: 15 dez. 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área territorial brasileira**. 2017b. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/areaterritorial/principal.shtm>>. Acesso em: 5 jan. 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Biomas e de Vegetação**. 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>. Acesso em: 10 set. 2016.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil - 1961-1900**. Brasília, DF. 2009. 465 p.

KELLER FILHO, T.; ASSAD, E. D.; LIMA, P. R. S. R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 4, abr. p. 311-322, 2005.

LYRA, G. B. et al. Regiões homogêneas e funções de distribuição de probabilidade da precipitação pluvial no Estado de Táchira, Venezuela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 205-215, fev. 2006.

MACIEL, J. L. N. Magnaporthe oryzae, the blast pathogen: current status and options for its control. **Plant Sciences Reviews**, Wallingford, v. 264, p. 233-240, 2011. <<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20123020131>>. Acesso em: 15 dez. 2016.

MACHADO, M. L. et al. Zoneamento agropedoclimático da mamona para o estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 241, p. 72-78, nov/dez. 2007.

MAPBIOMAS. **Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomas)**. V. 2.0. 2017. Disponível em: <mapbiomas.org>. Acesso em 30 abr. 2017.

MINGOTI, R.; HOLLER, W. A.; SPADOTTO, C. A. **Produção potencial de trigo no Brasil**. Campinas, SP: Embrapa Gestão Territorial, 2014. 2p. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/978795/1/SGTEInformativo02.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 425p.

MIRANDA, J. I. **Processamento de Imagens Digitais: métodos multivariados em Java**. Campinas, SP: Embrapa Informática Agropecuária, 2011. 400p.

MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET, 2009. 530 p.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2.ed. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1989. 421p.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1981. p. 129-132.

PIMENTEL, A. J. B. et al. Characterization of heat tolerance in wheat cultivars and effects on production components. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n.2, p. 191-198, mar/abr., 2015.

PINTO, D. X.; ESQUERDO, J. C. D. M.; COUTINHO, A. C. Mapeamento da expansão agrícola no estado do Mato Grosso em 11 anos a partir de técnica baseada em séries temporais de imagens de NDVI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu-PR. **Anais...** São José dos Campos-SP: INPE, 2013. p. 201-206.

RAJARAM, S.; GINKEL, M. van; FISCHER, R. A. CIMMYT's wheat breeding megaenvironments (ME). In: INTERNATIONAL WHEAT GENETICS SYMPOSIUM, 8., 1994, Beijing, **Proceedings**. Beijing, 1994. p. 1101-1106.

RIBEIRO, G. et al. Estresse por altas temperaturas em trigo: impacto no desenvolvimento e mecanismos de tolerância. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.18 n. 2-4, p.133-142, 2012.

RIBEIRO JÚNIOR, W. Q. et al. **Fenotipagem para tolerância à seca visando o melhoramento genético do trigo no cerrado**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2006. 17 p. (Embrapa Trigo. Circular técnica online, 21). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPT-2010/40360/1/p-ci21.pdf>> Acesso e: 15 out. 2016.

ROSSETTI, L. A. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e seguridade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 386-399, 2001.

SANTOS, W. G.; MARTINS, J. I. F. O zoneamento Agrícola de Risco Climático e sua contribuição à agricultura brasileira. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 25, n. 3, p 73-94. 2016.

SILVA, F. A. M.; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A. Caracterização climática do bioma Cerrado. In: SANO, M. S.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Org.) **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 1, p. 71-88, 2008.

SILVA, R. M. da. **Introdução ao Geoprocessamento: conceitos, técnicas e aplicações**. 2. ed. Novo Hamburgo-RS: Feevale, 2010. 184 p.

SOUZA, M. A.; RAMALHO, M. A. P. Controle genético e tolerância ao estresse de calor em populações híbridas e em cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 1245-1253, 2001.

STONE, P. J.; NICOLAS, M. E. Wheat cultivars vary widely in their responses of grain yield and quality to short periods of post-anthesis heat stress. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 21, p. 887-900, 1994.

STRECK, N. A. Climate change and agroecosystems: the effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on crop growth, development, and yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 730-740, 2005.

USDA. United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. **Databases**: production, supply and distribution online. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>>. Acesso: 12 dez. 2016, 2016.

USGS. **Earth Explorer**. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov>. Acesso em 2 ago. 2016, 2016.

VICTORIA, D. C. et al. **Tutorial SOMABRASIL**: Sistema de Observação e Monitoramento da Agricultura no Brasil. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento

por Satélite, 2013. 12 p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Comunicado Técnico, 36).

WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, Alexandria, v.58, n. 301, p. 236-244, 1963.

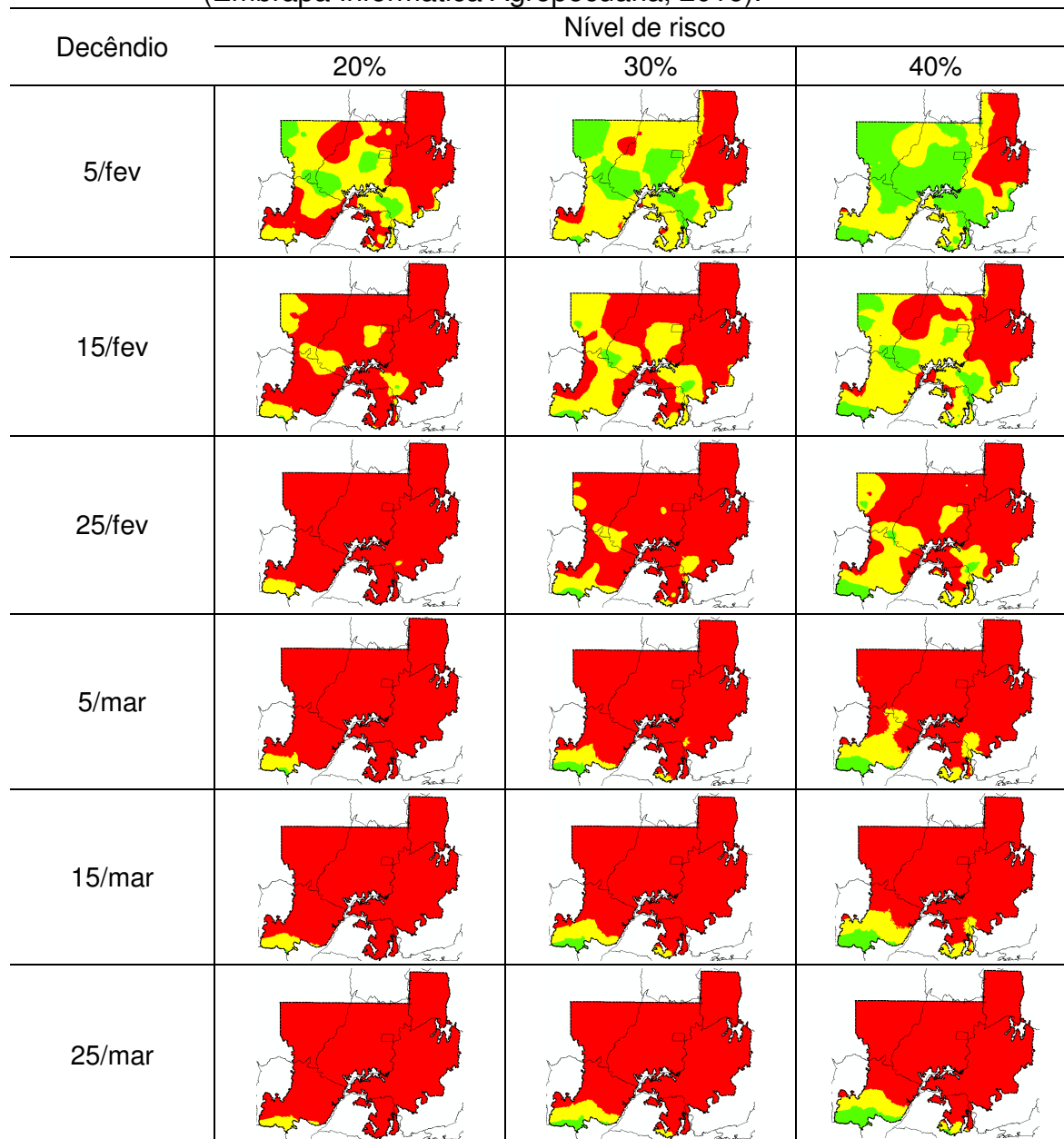
WORLDCLIM. **Global Climate Data**. 2016. Disponível em: <<http://www.worldclim.org>>. Acesso em 15 set. 2016.

YANG, J. et al. Growth and senescence characteristics associated with tolerance of wheat-alienamphiploids to high temperature under controlled conditions. **Euphytica**, Wageningen, v. 126, p. 185-193. 2002.

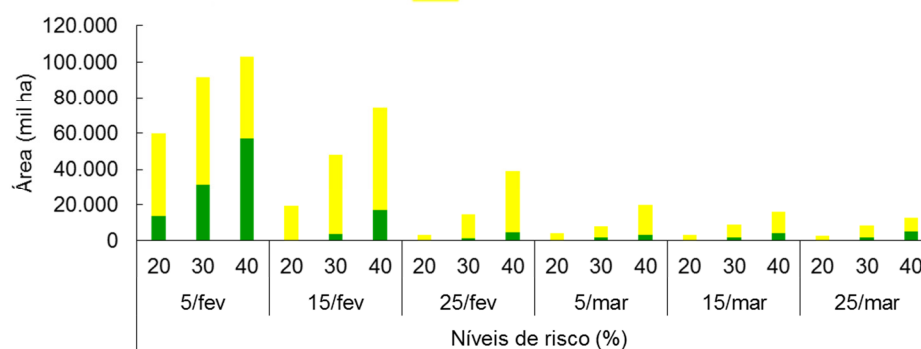
ZHONG-HU, H.; RAJARAM, S. Differential responses of bread wheat characters to high temperature. **Euphytica**, Wageningen, v. 72, p.197-203, 1994

7 APÊNDICES

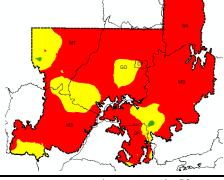
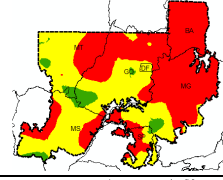
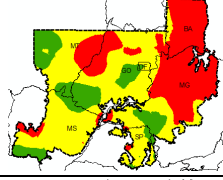
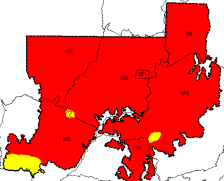
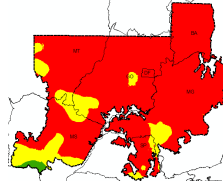
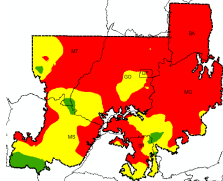
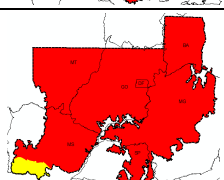
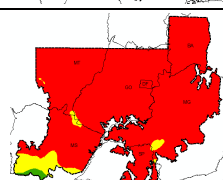
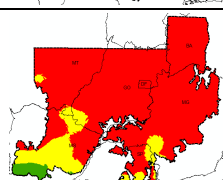
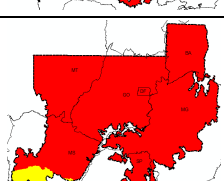
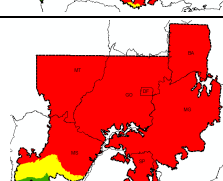
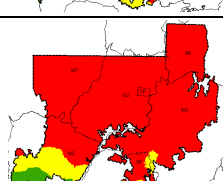
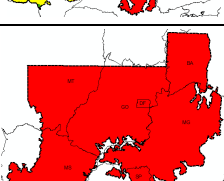
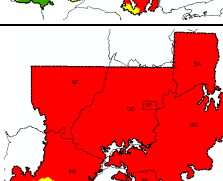
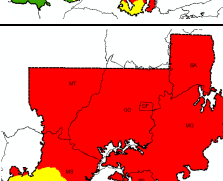
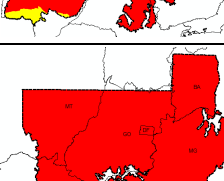
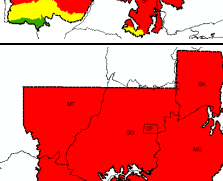
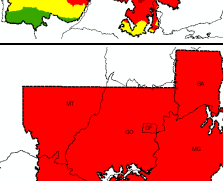
APÊNDICE 1. Regionalização de níveis de impacto por deficiência hídrica (baixo, moderado e elevado) para cultivares de trigo sequeiro do **Grupo I** (105 dias) na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), no bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40%, solo tipo 3 (**CAD 75 mm**), em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).



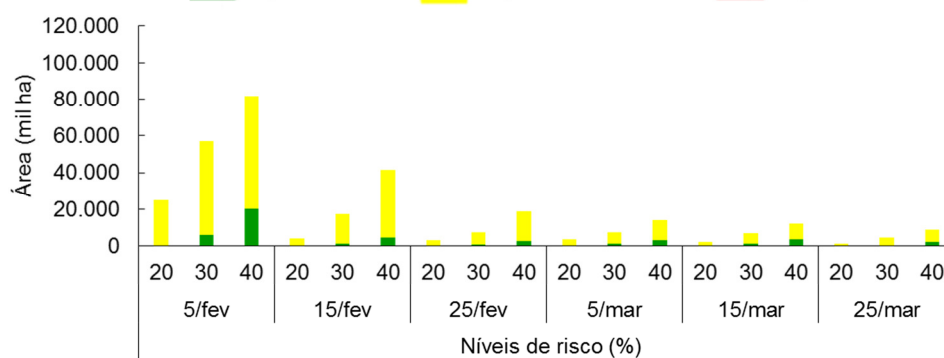
Impacto baixo Impacto moderado Impacto elevado



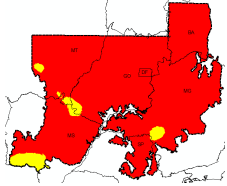
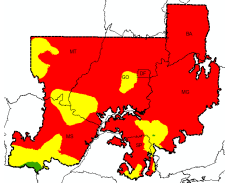
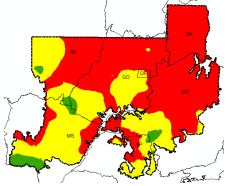
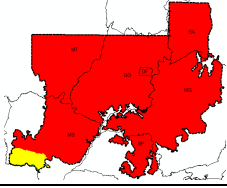
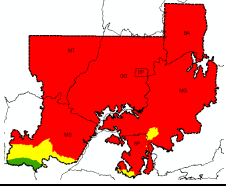
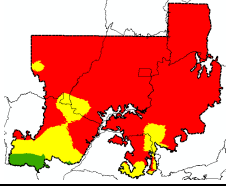
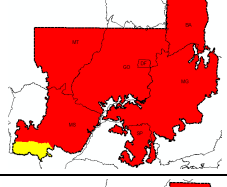
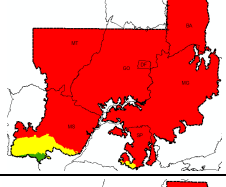
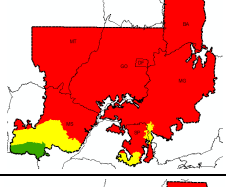
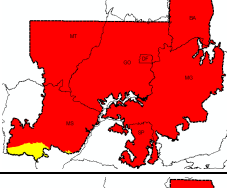
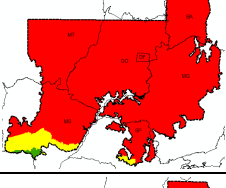
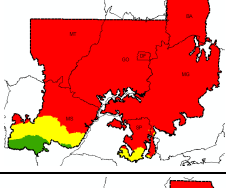
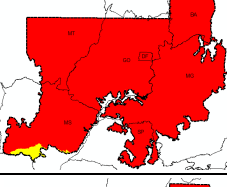
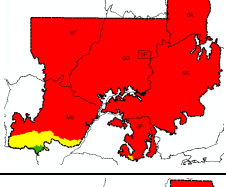
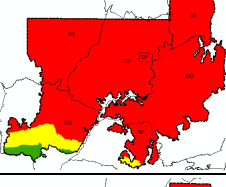
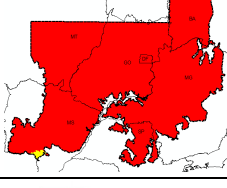
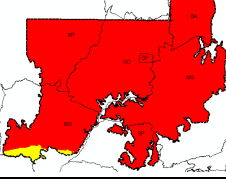
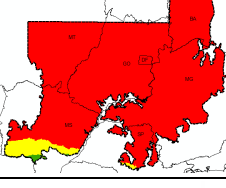
APÊNDICE 2. Regionalização de níveis de impacto por deficiência hídrica (baixo, moderado e elevado) para cultivares de trigo sequeiro do **Grupo II** (115 dias), na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), no Bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40%, solo tipo 3 (**CAD 75 mm**), em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).

Decêndio	Nível de risco		
	20%	30%	40%
5/fev			
15/fev			
25/fev			
5/mar			
15/mar			
25/mar			

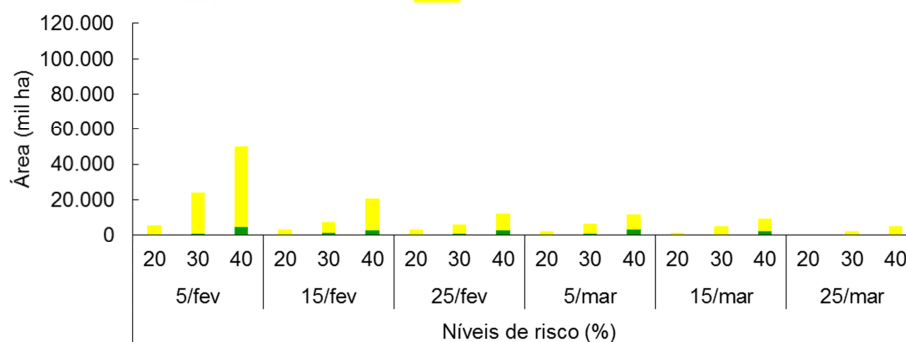
Impacto baixo Impacto moderado Impacto elevado



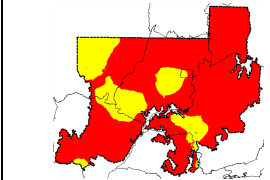
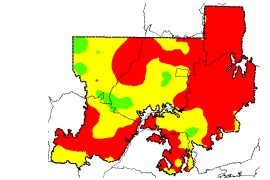
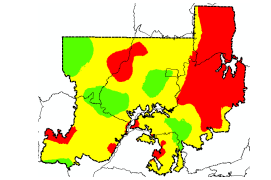
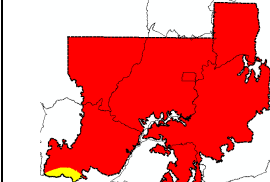
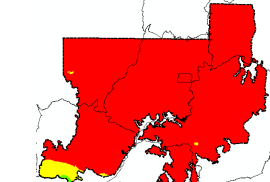
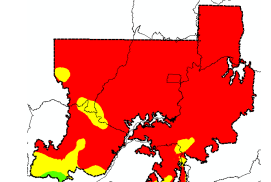
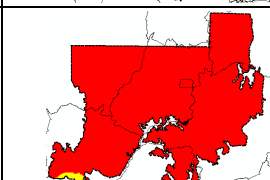
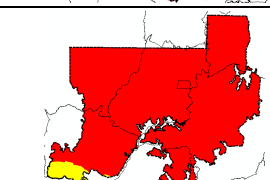
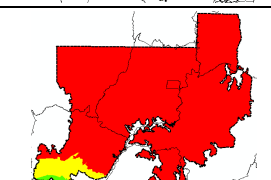
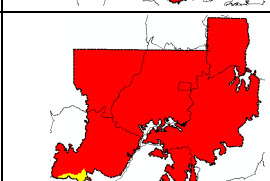
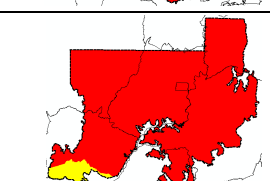
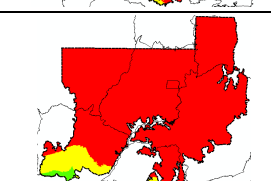
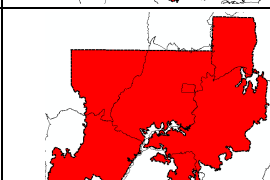
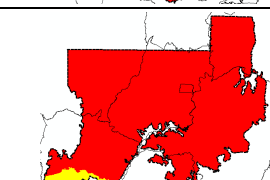
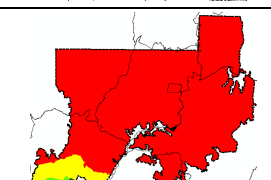
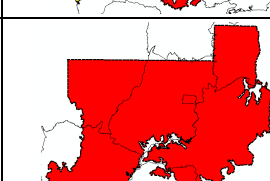
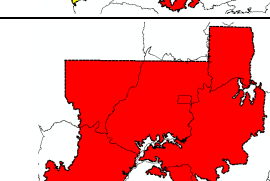
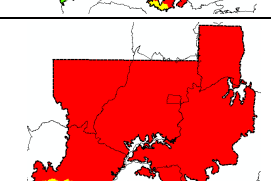
APÊNDICE 3. Regionalização de níveis de impacto por deficiência hídrica (baixo, moderado e elevado) para cultivares de trigo sequeiro do **Grupo III** (125 dias), na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), no Bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40%, solo tipo 3 (**CAD 75 mm**), em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).

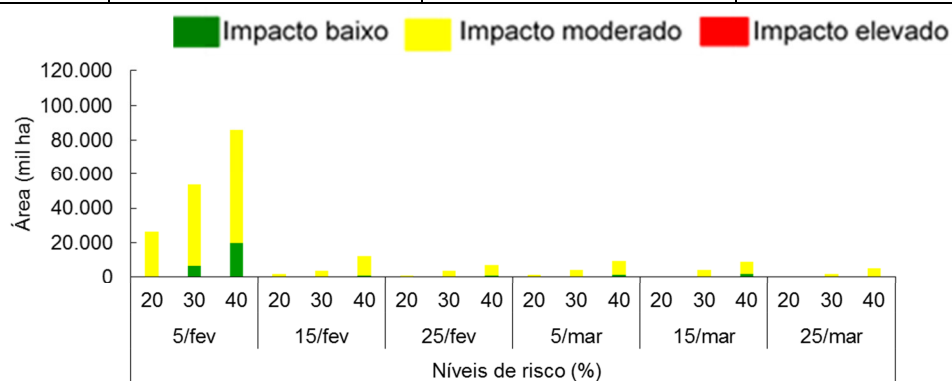
Decêndio	Nível de risco		
	20%	30%	40%
5/fev			
15/fev			
25/fev			
5/mar			
15/mar			
25/mar			

Impacto baixo Impacto moderado Impacto elevado

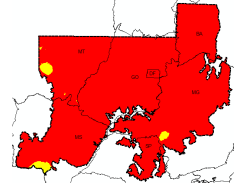
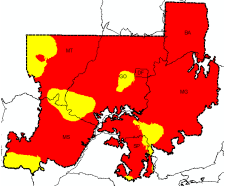
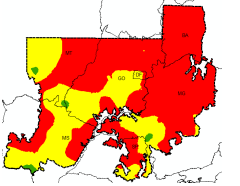
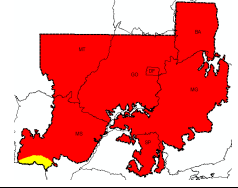
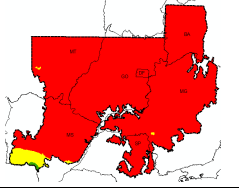
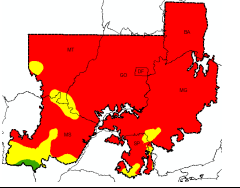
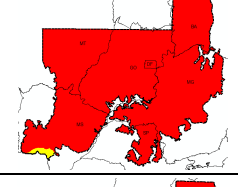
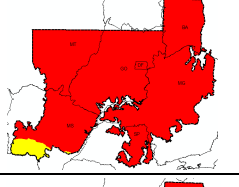
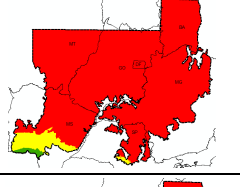
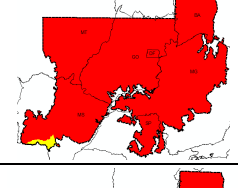
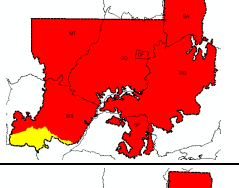
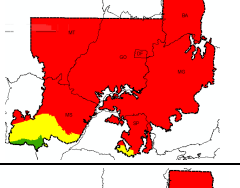
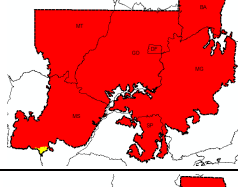
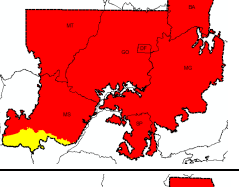
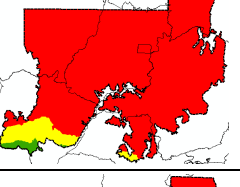
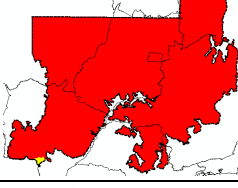
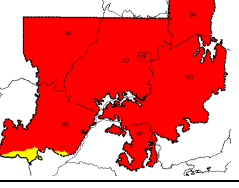
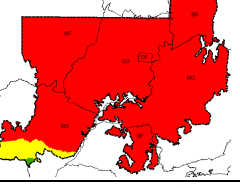


APÊNDICE 4. Regionalização de níveis de impacto por deficiência hídrica (baixo, moderado e elevado) para cultivares de trigo sequeiro do Grupo I (105 dias) na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), no bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40%, solo tipo 2 (**CAD 55 mm**), em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).

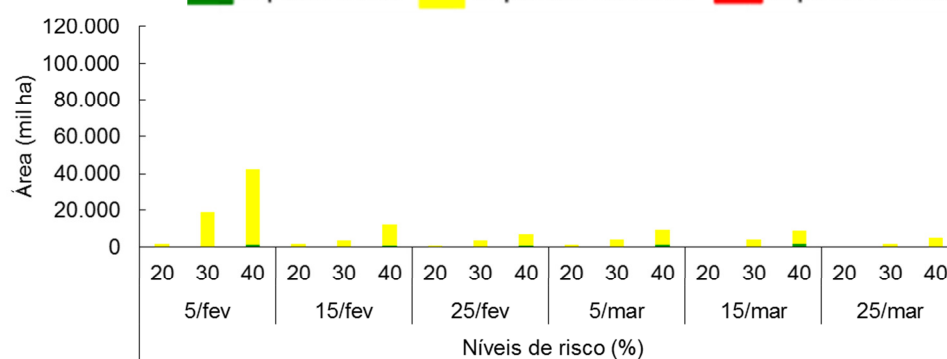
Decêndio	Nível de risco		
	20%	30%	40%
5/fev			
15/fev			
25/fev			
5/mar			
15/mar			
25/mar			



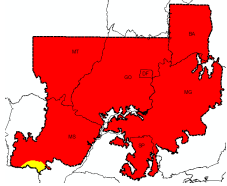
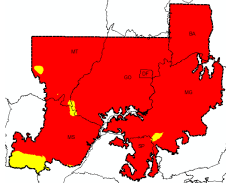
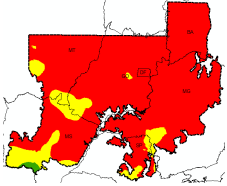
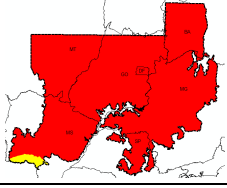
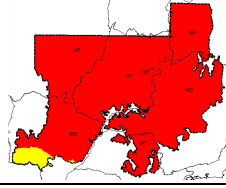
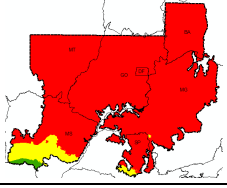
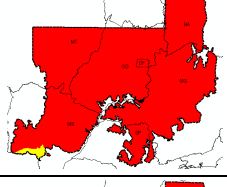
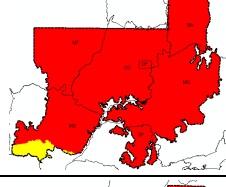
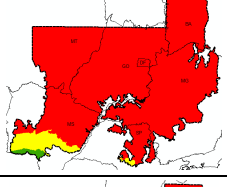
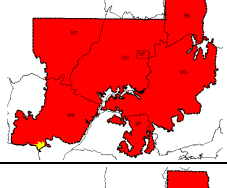
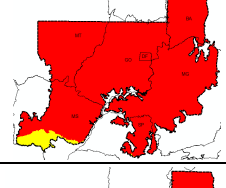
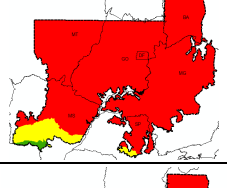
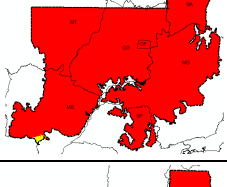
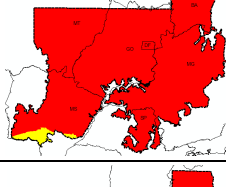
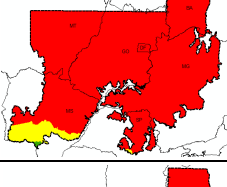
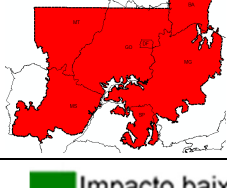
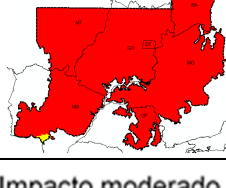
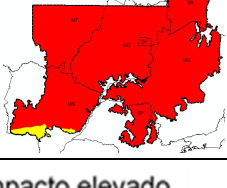
APÊNDICE 5. Regionalização de níveis de impacto por deficiência hídrica (baixo, moderado e elevado) para cultivares de trigo sequeiro do **Grupo II** (115 dias) na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), no bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40%, solo tipo 2 (**CAD 55 mm**), em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).

Decêndio	Nível de risco		
	20%	30%	40%
5/fev			
15/fev			
25/fev			
5/mar			
15/mar			
25/mar			

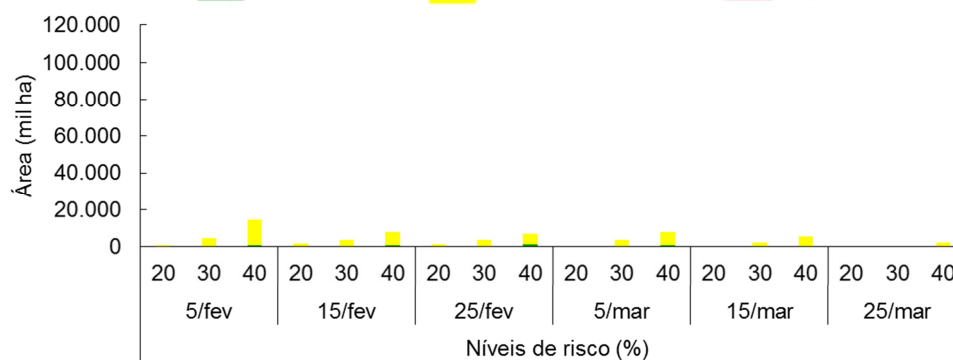
Impacto baixo Impacto moderado Impacto elevado



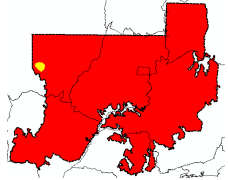
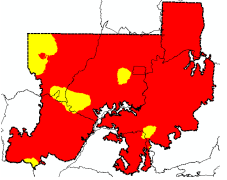
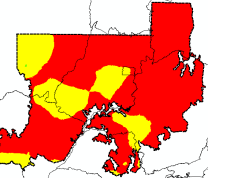
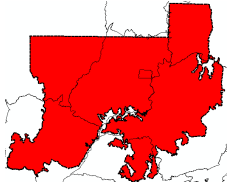
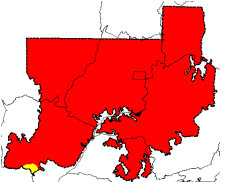
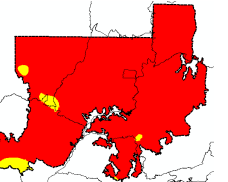
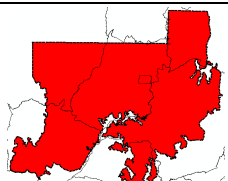
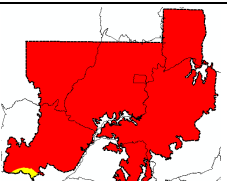
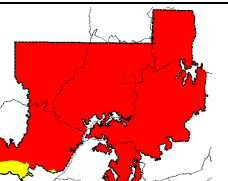
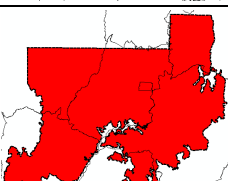
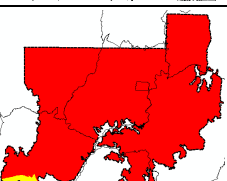
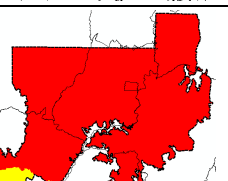
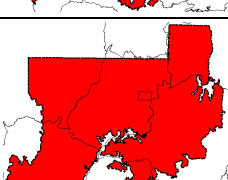
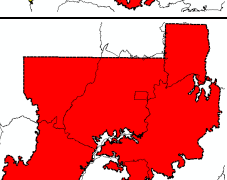
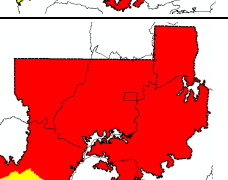
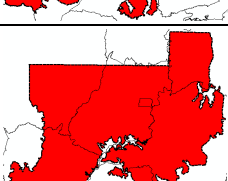
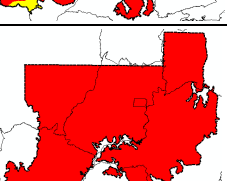
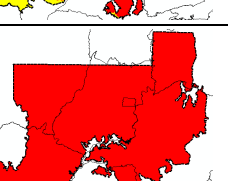
APÊNDICE 6. Regionalização de níveis de impacto por deficiência hídrica (baixo, moderado e elevado) para cultivares de trigo sequeiro do **Grupo III** (125 dias) na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), no bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40%, solo tipo 2 (**CAD 55 mm**), em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).

Decêndio	Nível de risco		
	20%	30%	40%
5/fev			
15/fev			
25/fev			
5/mar			
15/mar			
25/mar			

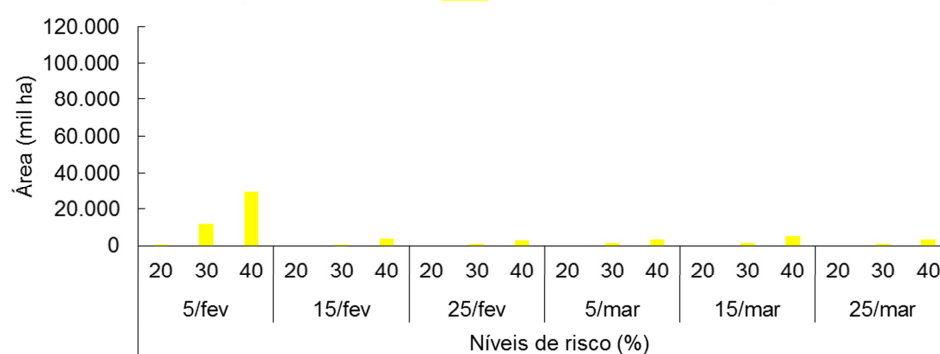
Impacto baixo Impacto moderado Impacto elevado



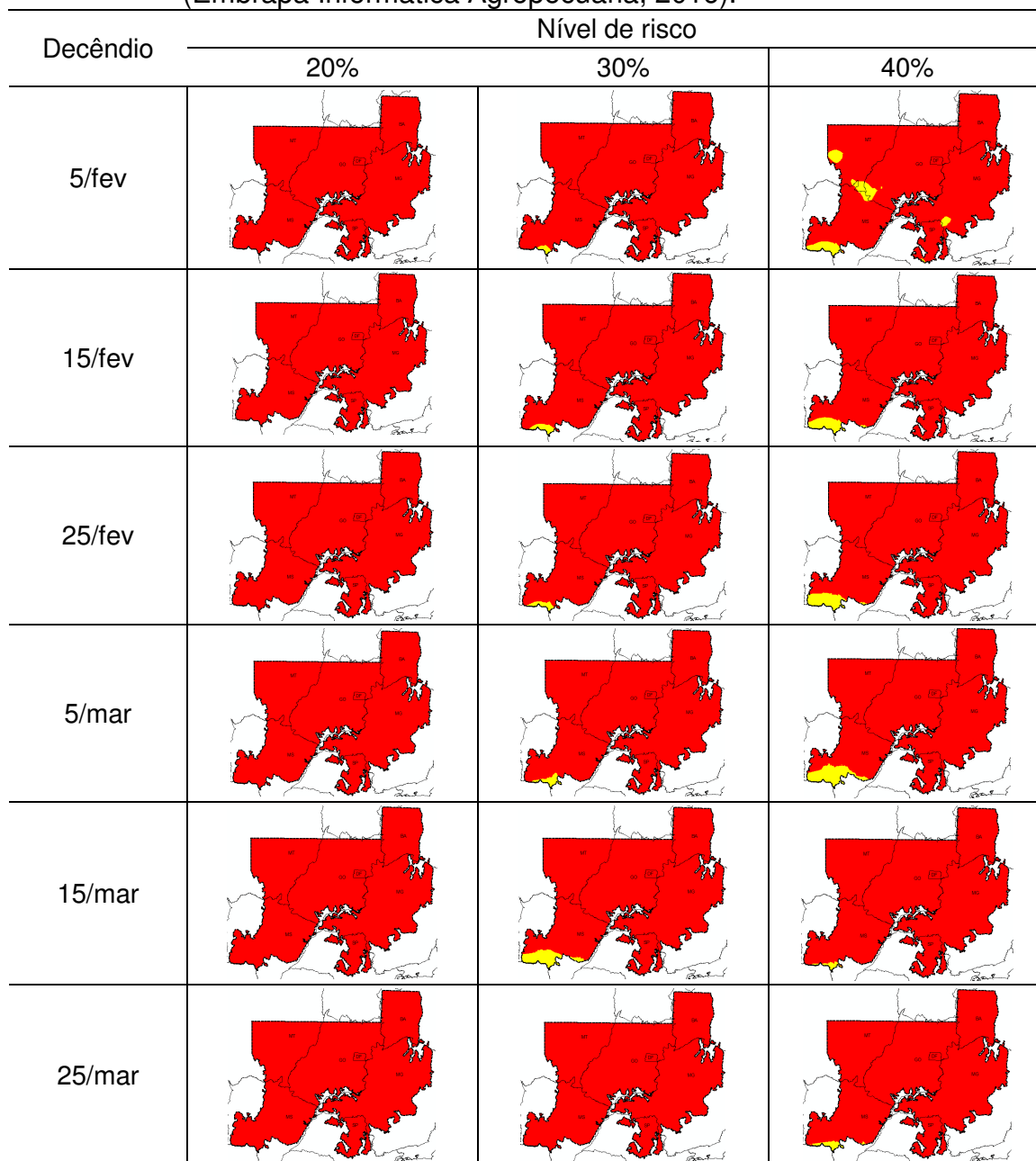
APÊNDICE 7. Regionalização de níveis de impacto por deficiência hídrica (baixo, moderado e elevado) para cultivares de trigo sequeiro do **Grupo I** (105 dias) na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), no bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40%, solo tipo 1 (**CAD 35 mm**), em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).

Decêndio	Nível de risco		
	20%	30%	40%
5/fev			
15/fev			
25/fev			
5/mar			
15/mar			
25/mar			

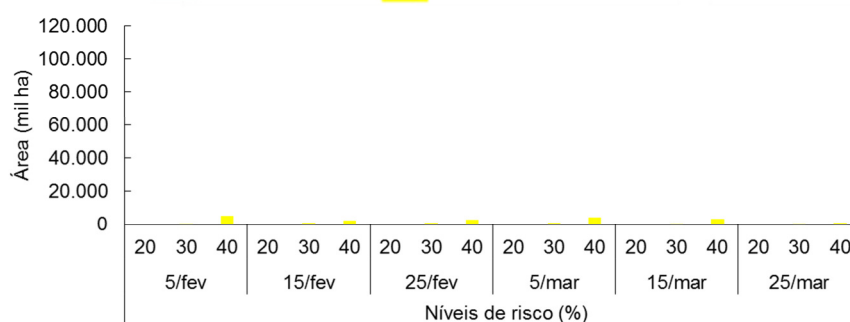
Impacto baixo Impacto moderado Impacto elevado



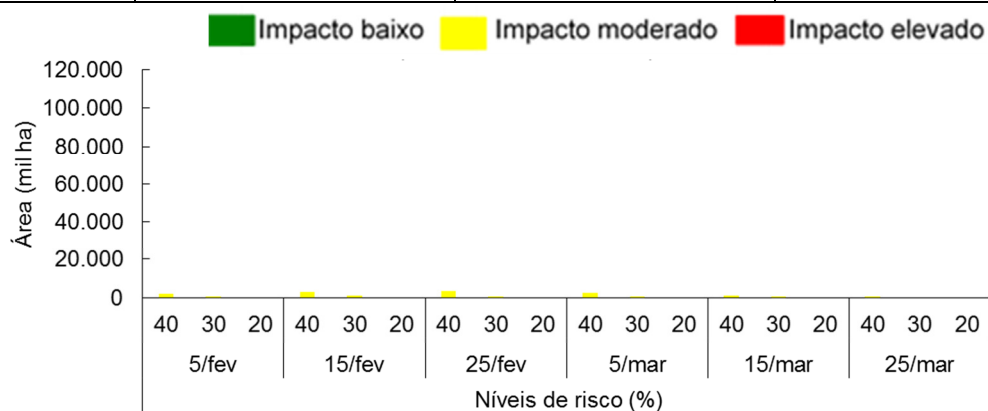
APÊNDICE 8. Regionalização de níveis de impacto por deficiência hídrica (baixo, moderado e elevado) para cultivares de trigo sequeiro do **Grupo II** (115 dias) na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), no bioma Cerrado, considerando níveis de risco de 20%, 30% e 40%, solo tipo 1 (**CAD 35 mm**), em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).



Impacto baixo Impacto moderado Impacto elevado

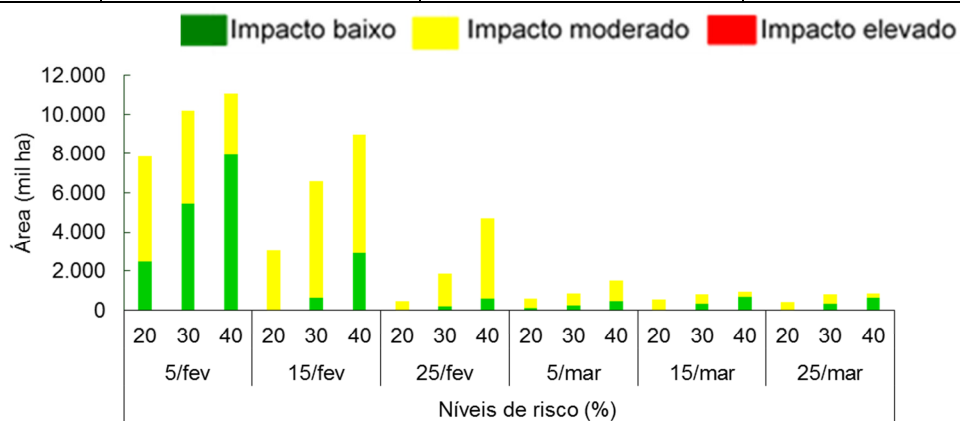


Decêndio	Nível de risco		
	20%	30%	40%
5/fev			
15/fev			
25/fev			
5/mar			
15/mar			
25/mar			



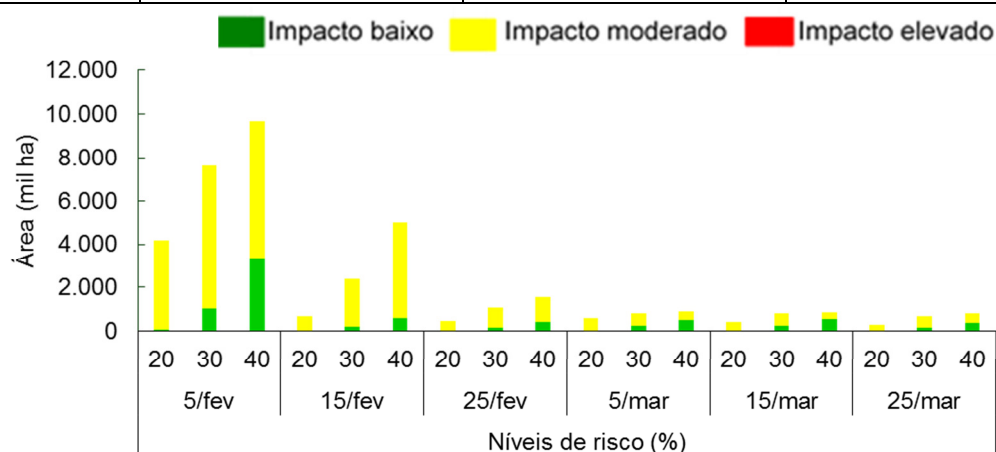
APÊNDICE 10. Distribuição espacial das áreas favoráveis para cultivares de trigo sequeiro do **grupo I** (105 dias), (níveis de impacto por deficiência hídrica baixo, moderado e elevado), na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), Bioma Cerrado, solos com capacidade de água disponível de **75 mm**, níveis de risco de 20%, 30% e 40%, considerando a interação dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 x **agricultura anual**), em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 fevereiro e 5, 15 e 25 março (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).

Decêndio	Nível de risco		
	20%	30%	40%
5/fev			
15/fev			
25/fev			
5/mar			
15/mar			
25/mar			

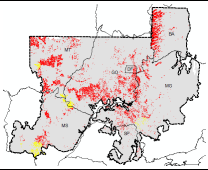
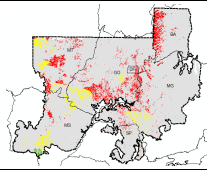
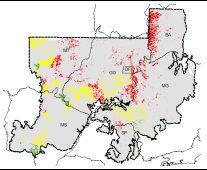
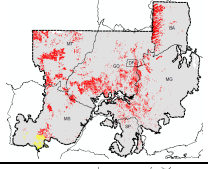
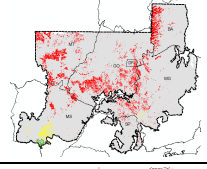
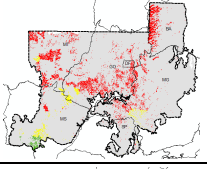
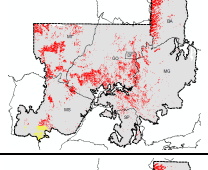
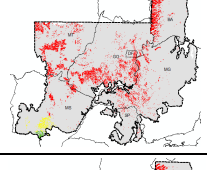
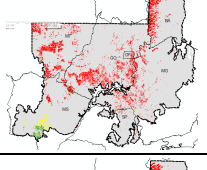
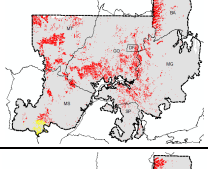
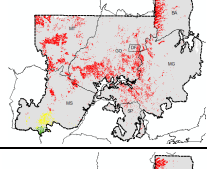
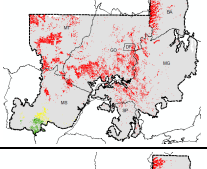
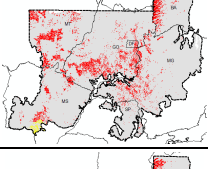
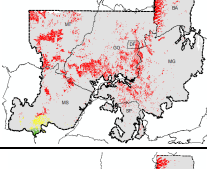
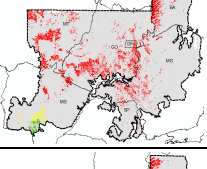
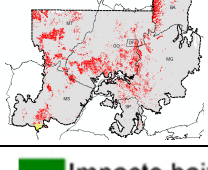
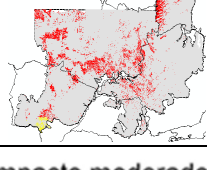
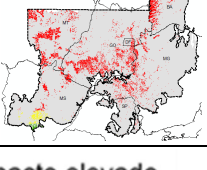


APÊNDICE 11. Distribuição espacial das áreas favoráveis para cultivares de trigo sequeiro do **Grupo II** (115 dias), (níveis de impacto por deficiência hídrica baixo, moderado e elevado), na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, solos com capacidade de água disponível de **75 mm**, níveis de risco de 20%, 30% e 40%, considerando a interação dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 x **agricultura anual**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 de fevereiro e 5, 15 e 25 de março (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).

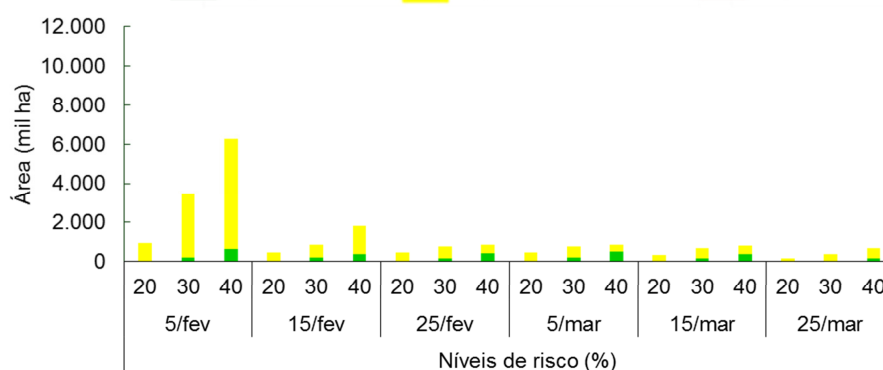
Decêndio	Nível de risco		
	20%	30%	40%
5/fev			
15/fev			
25/fev			
5/mar			
15/mar			
25/mar			



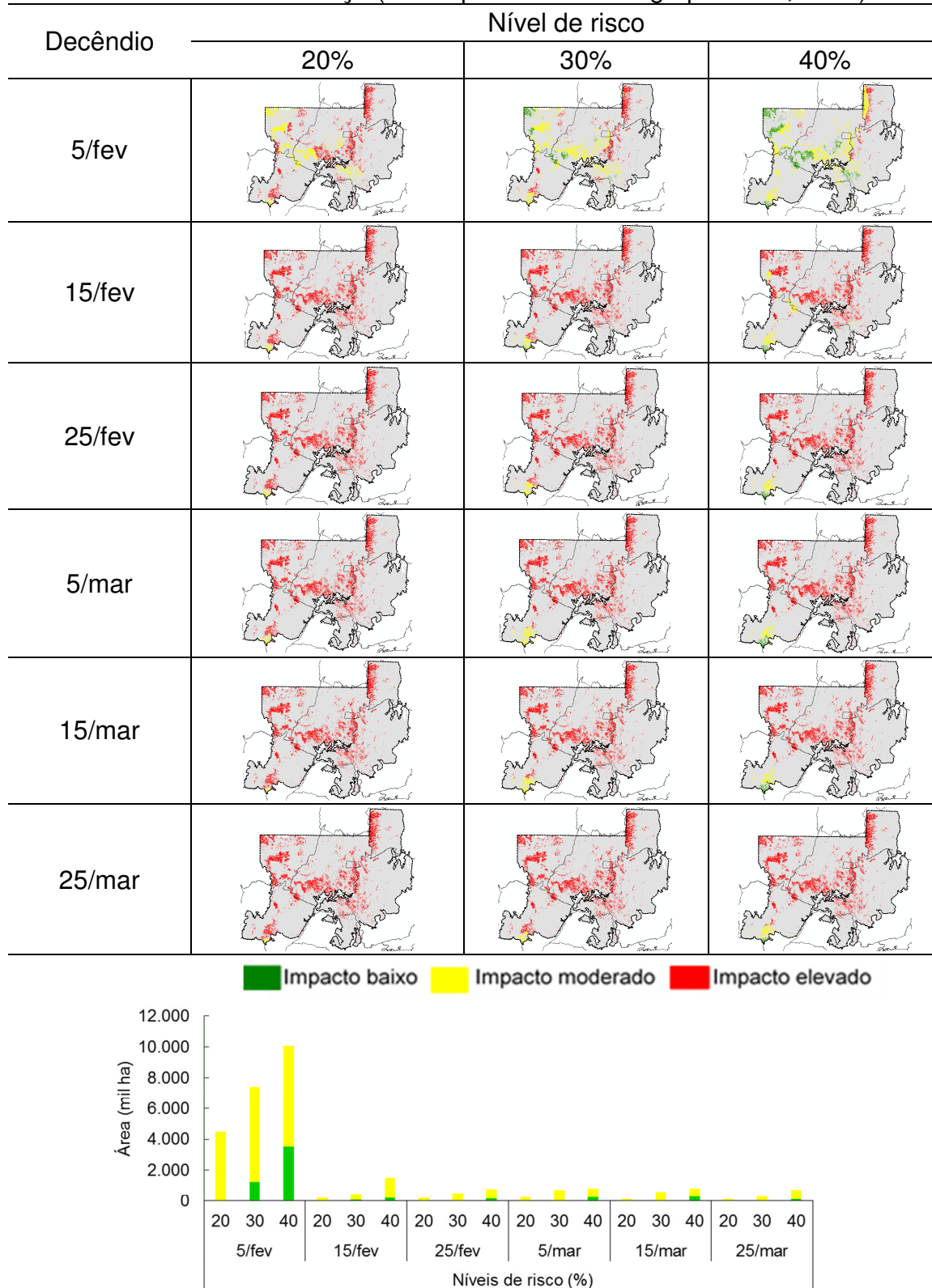
APÊNDICE 12. Distribuição espacial das áreas favoráveis para cultivares de trigo sequeiro do **grupo III** (125 dias), (níveis de impacto por deficiência hídrica baixo, moderado e elevado), na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, solos com capacidade de água disponível de **75 mm**, níveis de risco de 20%, 30% e 40%, considerando a interação dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 x **agricultura anual**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 de fevereiro e 5, 15 e 25 de março (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).

Decêndio	Nível de risco		
	20%	30%	40%
5/fev			
15/fev			
25/fev			
5/mar			
15/mar			
25/mar			

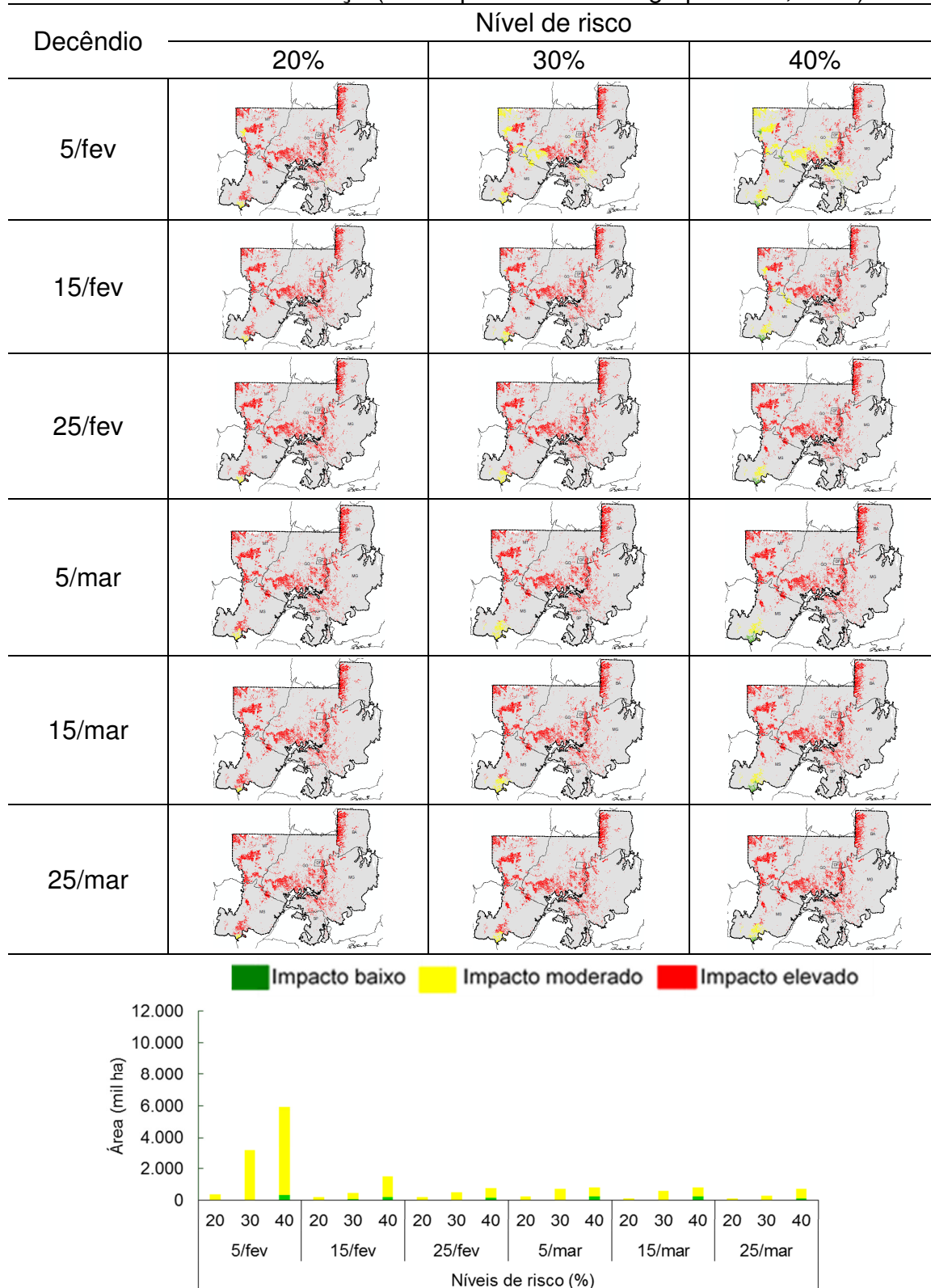
Impacto baixo Impacto moderado Impacto elevado



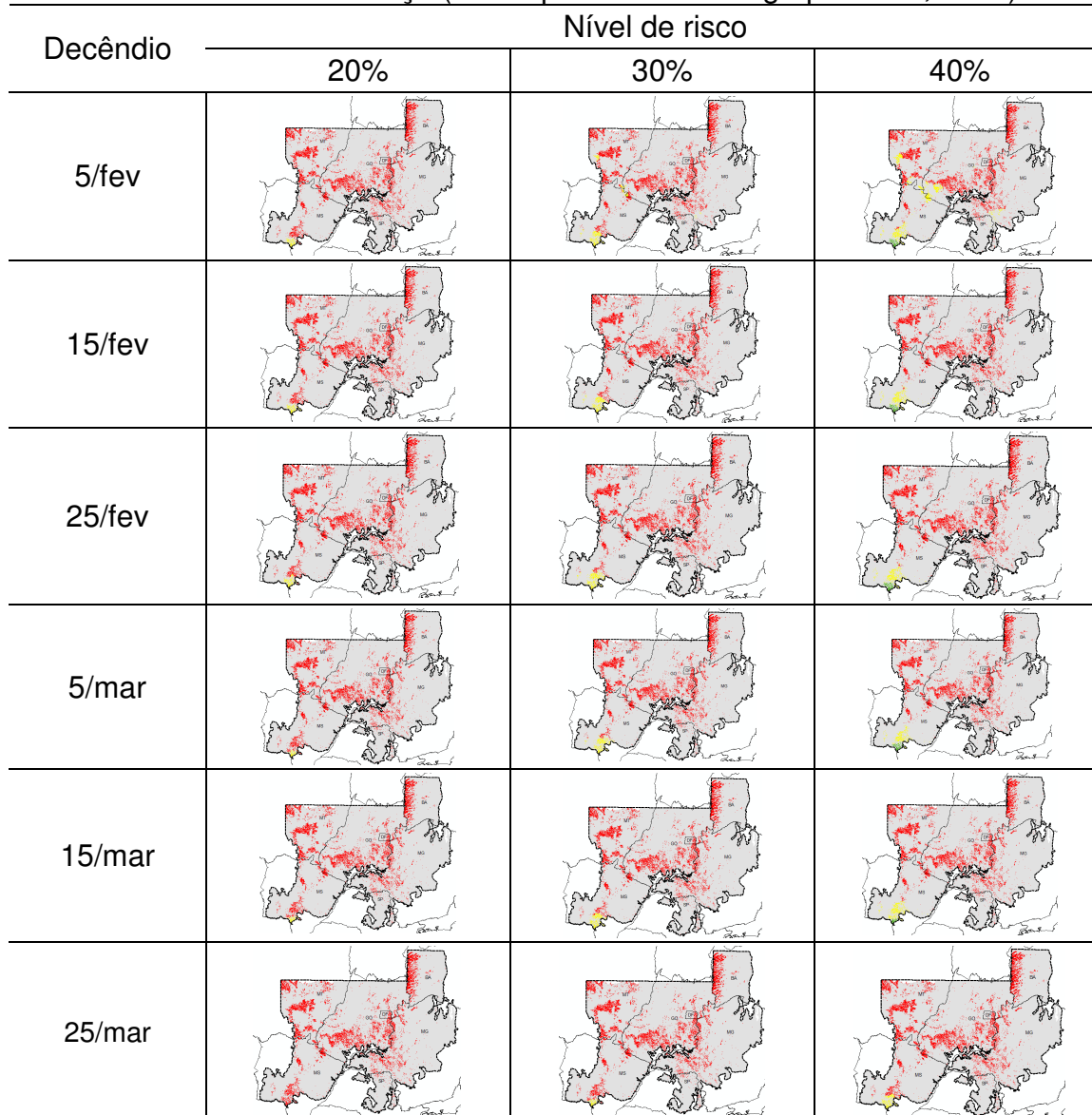
APÊNDICE 13. Distribuição espacial das áreas favoráveis para cultivares de trigo sequeiro do **grupo I** (105 dias), (níveis de impacto por deficiência hídrica baixo, moderado e elevado), na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, solos com capacidade de água disponível de **55 mm**, níveis de risco de 20%, 30% e 40%, considerando a interação dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 x **agricultura anual**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 de fevereiro e 5, 15 e 25 de março (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).



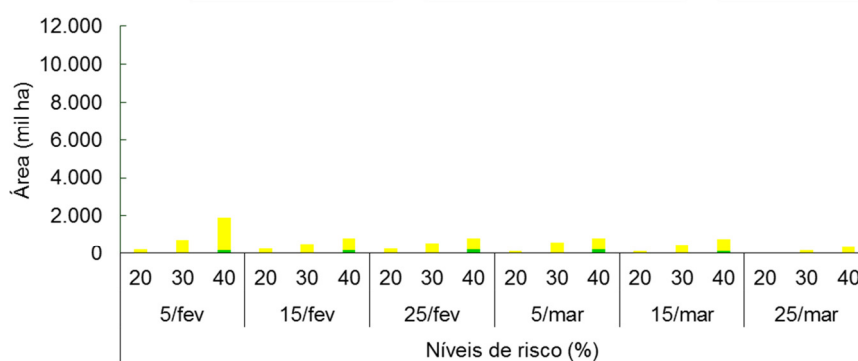
APÊNDICE 14. Distribuição espacial das áreas favoráveis para cultivares de trigo sequeiro do **grupo II** (115 dias), (níveis de impacto por deficiência hídrica baixo, moderado e elevado), na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, solos com capacidade de água disponível de **55 mm**, níveis de risco de 20%, 30% e 40%, considerando a interação dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 x **agricultura anual**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 de fevereiro e 5, 15 e 25 de março (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).



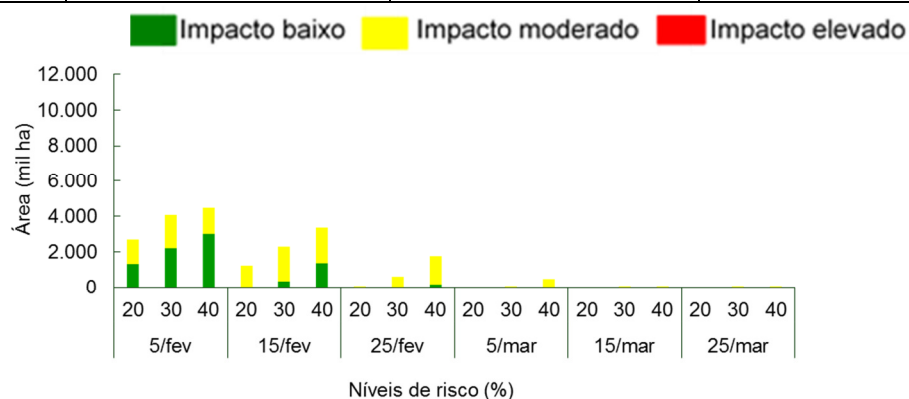
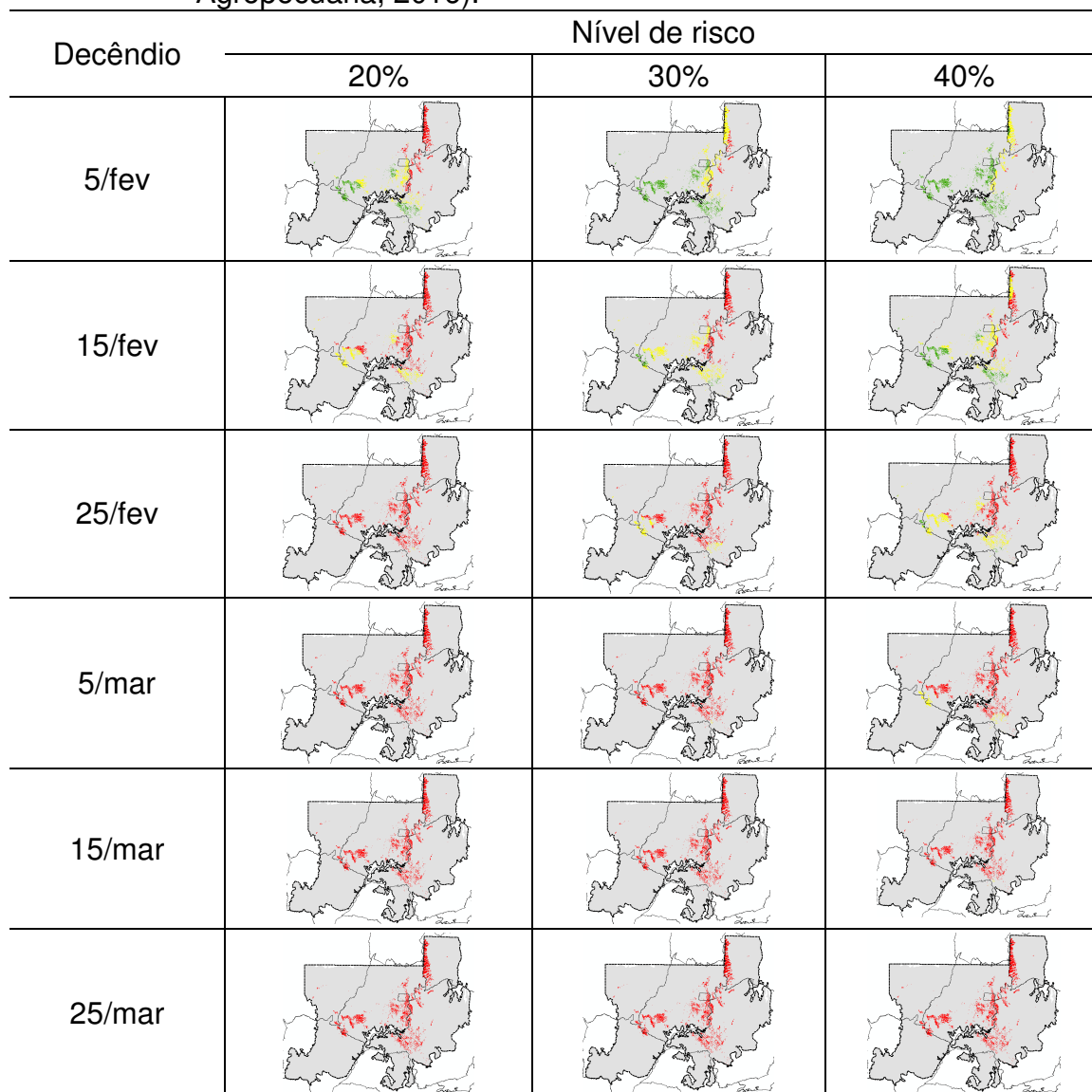
APÊNDICE 15. Distribuição espacial das áreas favoráveis para cultivares de trigo sequeiro do **grupo III** (115 dias), (níveis de impacto por deficiência hídrica baixo, moderado e elevado), na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, solos com capacidade de água disponível de **55 mm**, níveis de risco de 20%, 30% e 40%, considerando a interação dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 x **agricultura anual**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 de fevereiro e 5, 15 e 25 de março (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).



Impacto baixo Impacto moderado Impacto elevado



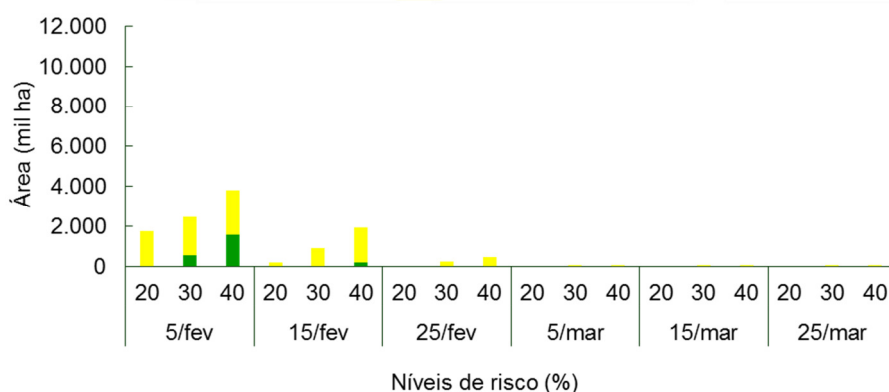
APÊNDICE 16. Distribuição espacial das áreas favoráveis para cultivares de trigo sequeiro do **grupo I** (105 dias), (níveis de impacto por deficiência hídrica baixo, moderado e elevado), na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, solos com capacidade de água disponível de **75 mm**, níveis de risco de 20%, 30% e 40%, considerando a interação dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 x **agricultura anual** x **altitude acima de 800 m**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 de fevereiro e 5, 15 e 25 de março (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).



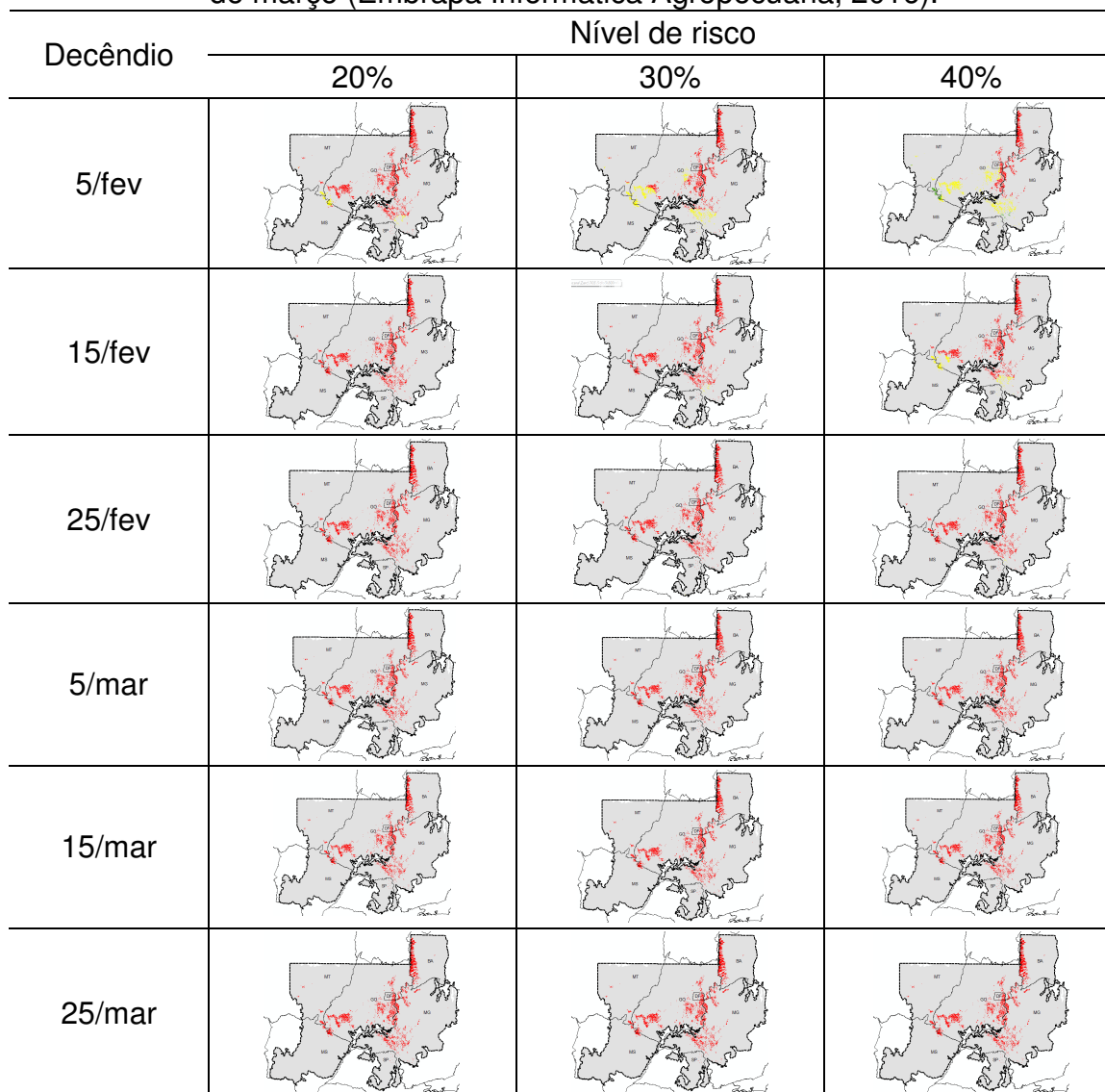
APÊNDICE 17. Distribuição espacial das áreas favoráveis para cultivares de trigo sequeiro do **grupo II** (115 dias), (níveis de impacto por deficiência hídrica baixo, moderado e elevado), na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, solos com capacidade de água disponível de **75 mm**, níveis de risco de 20%, 30% e 40%, considerando a interação dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 x **agricultura anual x altitude acima de 800 m**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 de fevereiro e 5, 15 e 25 de março (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).

Decêndio	Nível de risco		
	20%	30%	40%
5/fev			
15/fev			
25/fev			
5/mar			
15/mar			
25/mar			

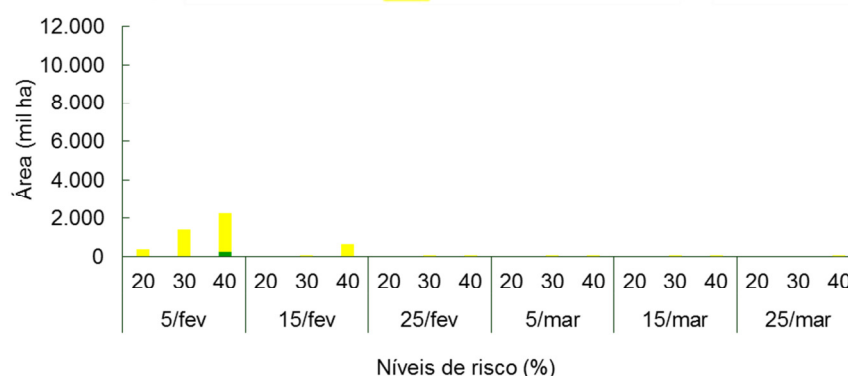
Impacto baixo Impacto moderado Impacto elevado



APÊNDICE 18. Distribuição espacial das áreas favoráveis para cultivares de trigo sequeiro do **grupo III** (125 dias), (níveis de impacto por deficiência hídrica baixo, moderado e elevado), na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, solos com capacidade de água disponível de **75 mm**, níveis de risco de 20%, 30% e 40%, considerando a interação dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 x agricultura anual x **altitude acima de 800 metros**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 de fevereiro e 5, 15 e 25 de março (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).



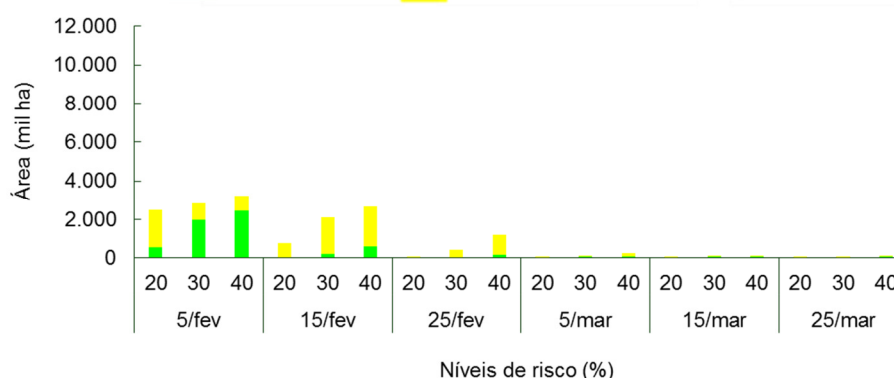
Impacto baixo Impacto moderado Impacto elevado



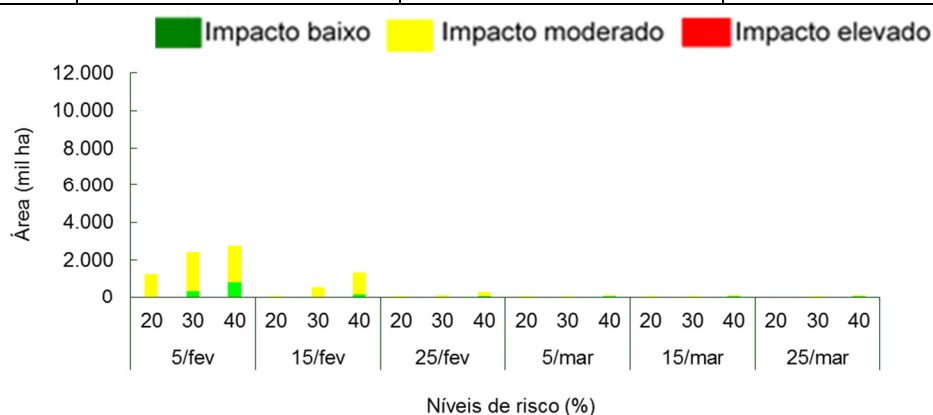
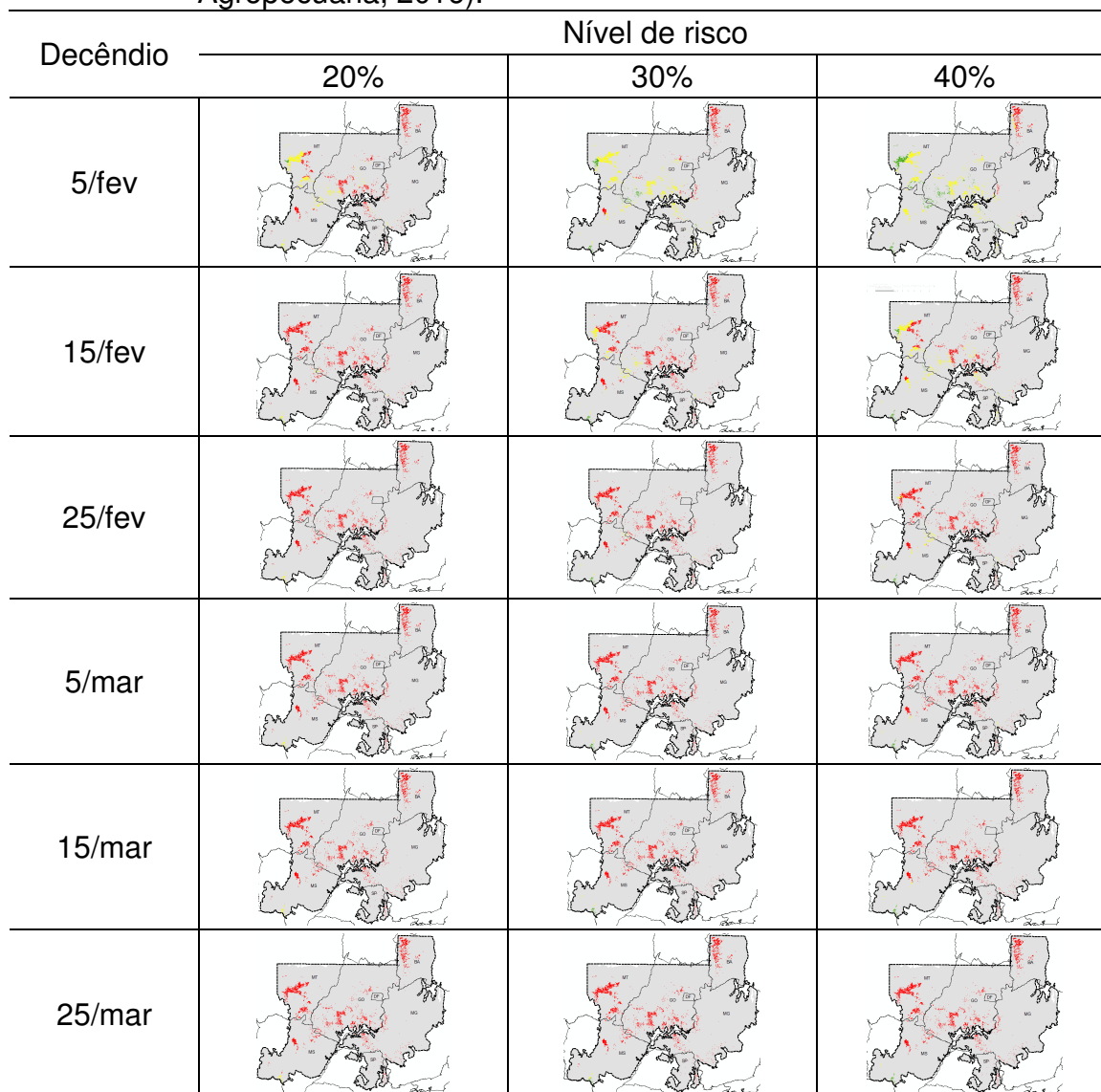
APÊNDICE 19. Distribuição espacial das áreas favoráveis para cultivares de trigo sequeiro do **grupo I** (105 dias), (níveis de impacto por deficiência hídrica baixo, moderado e elevado), na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, solos com capacidade de água disponível de **75mm**, níveis de risco de 20%, 30% e 40%, considerando a interação dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 x **agricultura anual** x **altitude entre 600 e 800 m**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 de fevereiro e 5, 15 e 25 de março (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).

Decêndio	Nível de risco		
	20%	30%	40%
5/fev			
15/fev			
25/fev			
5/mar			
15/mar			
25/mar			

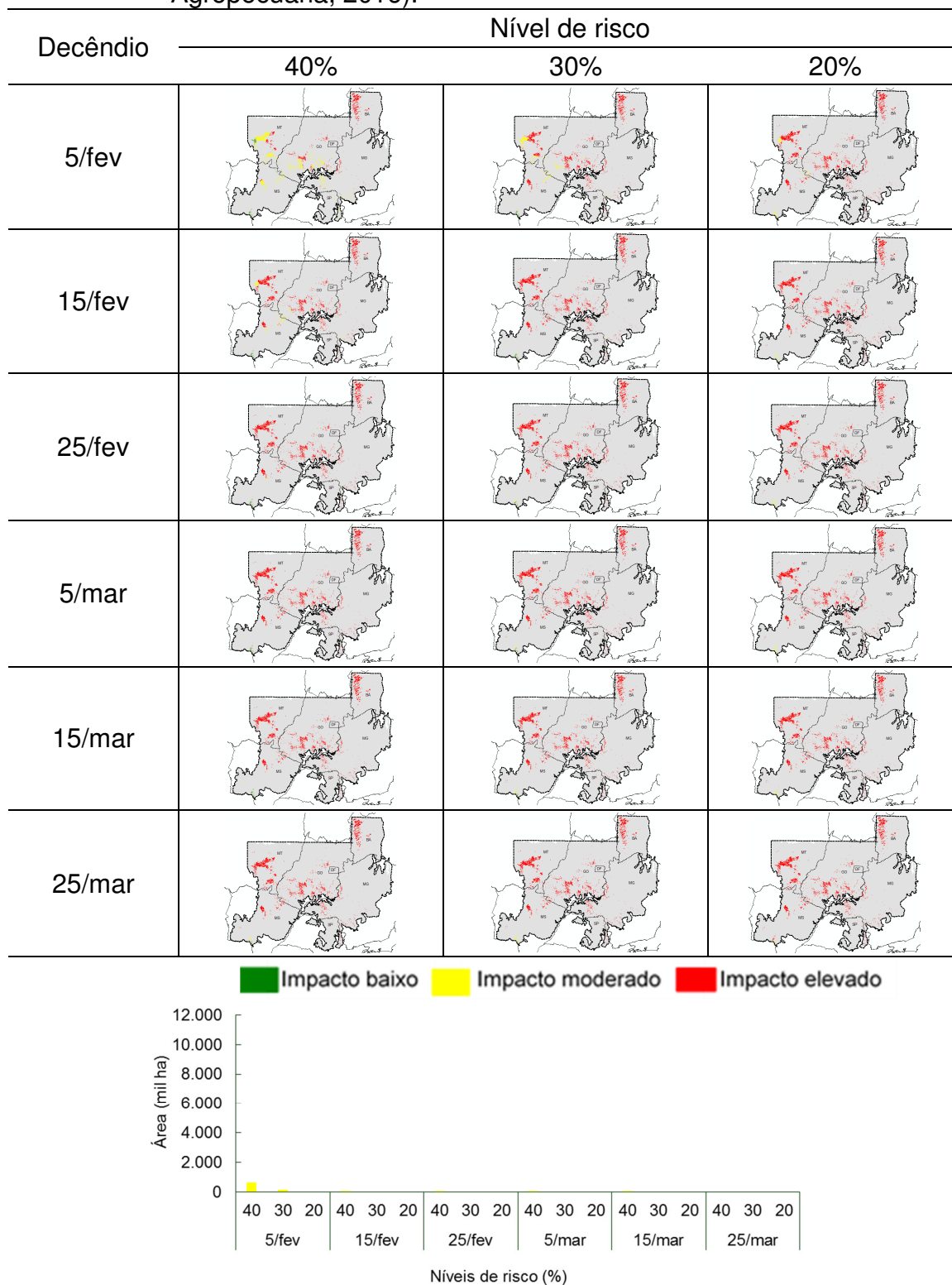
Impacto baixo Impacto moderado Impacto elevado



APÊNDICE 20. Distribuição espacial das áreas favoráveis para cultivares de trigo sequeiro do **grupo II** (115 dias), (níveis de impacto por deficiência hídrica baixo, moderado e elevado), na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, solos com capacidade de água disponível de **75mm**, níveis de risco de 20%, 30% e 40%, considerando a interação dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 x **agricultura anual** x **altitude entre 600 e 800 m**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 de fevereiro e 5, 15 e 25 de março (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).

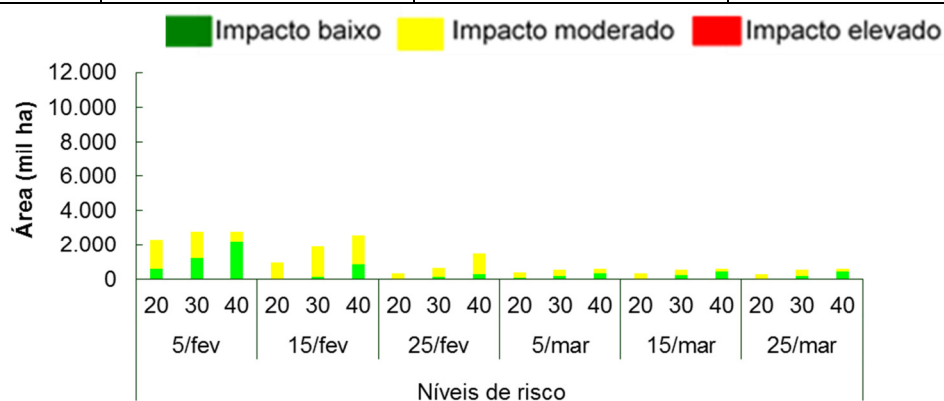


APÊNDICE 21. Distribuição espacial das áreas favoráveis para cultivares de trigo sequeiro do **grupo III** (125 dias), (níveis de impacto por deficiência hídrica baixo, moderado e elevado), na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, solos com capacidade de água disponível de **75mm**, níveis de risco de 20%, 30% e 40%, considerando a interação dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 x **agricultura anual** x **altitude entre 600 e 800 m**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 de fevereiro e 5, 15 e 25 de março (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).

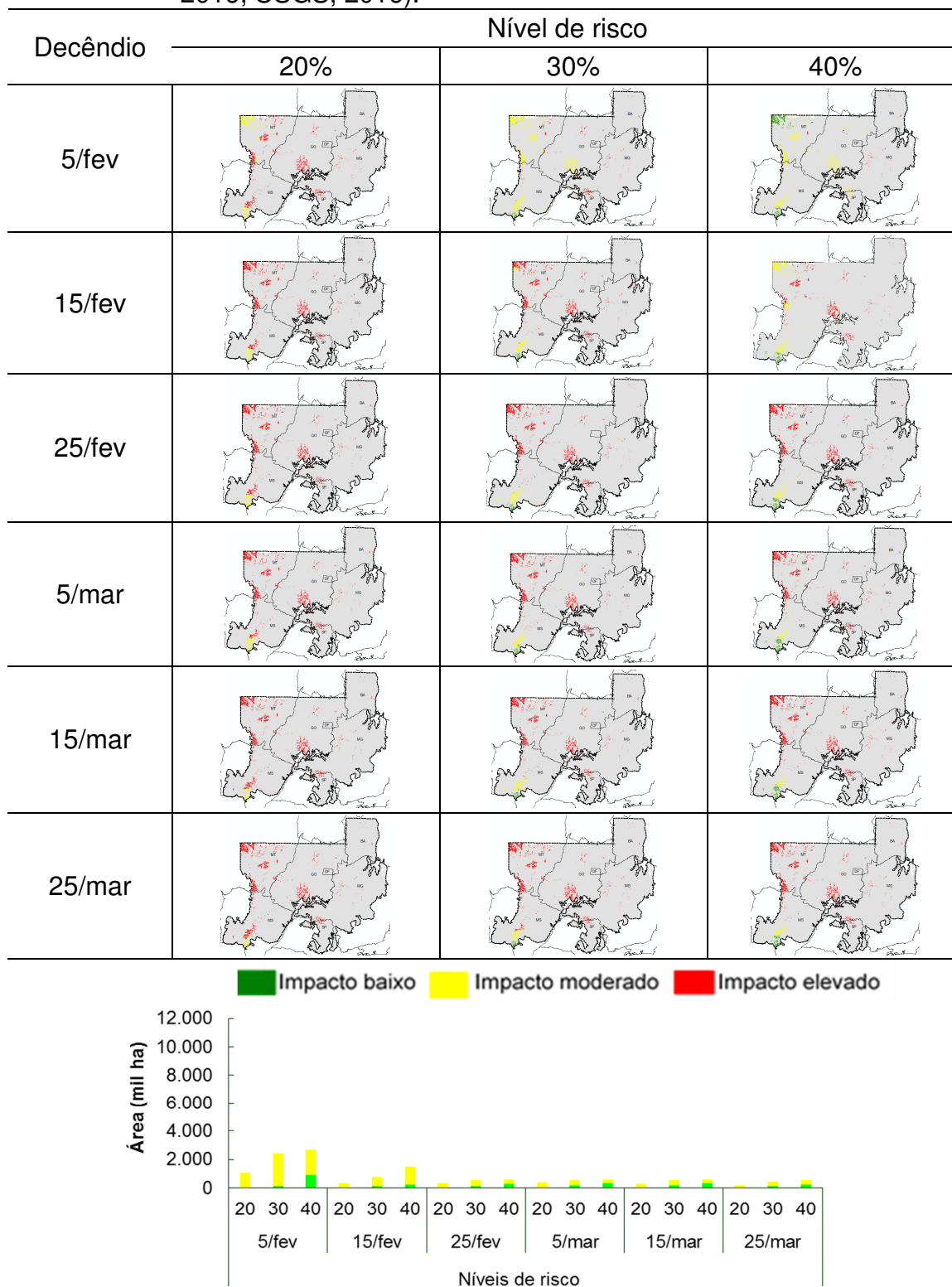


APÊNDICE 22. Distribuição espacial das áreas favoráveis para cultivares de trigo sequeiro do **grupo I** (105 dias), (níveis de impacto por deficiência hídrica baixo, moderado e elevado), na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, solos com capacidade de água disponível de **75 mm**, níveis de risco de 20%, 30% e 40%, considerando a interação dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 x **agricultura anual x altitude entre 400 e 600 m**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 de fevereiro e 5, 15 e 25 de março (Embrapa Informática Agropecuária, 2016).

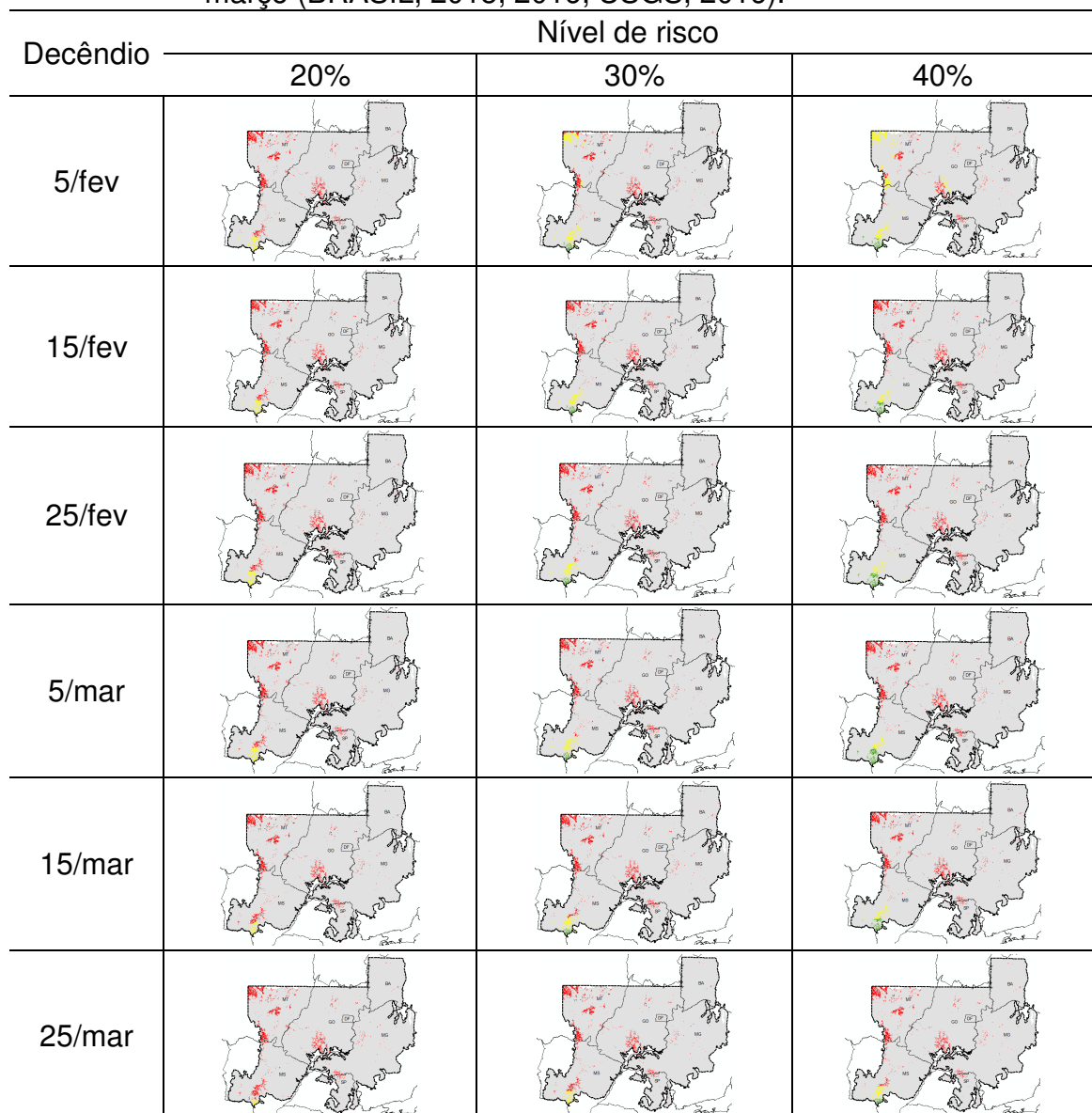
Decêndio	Nível de risco		
	20%	30%	40%
5/fev			
15/fev			
25/fev			
5/mar			
15/mar			
25/mar			



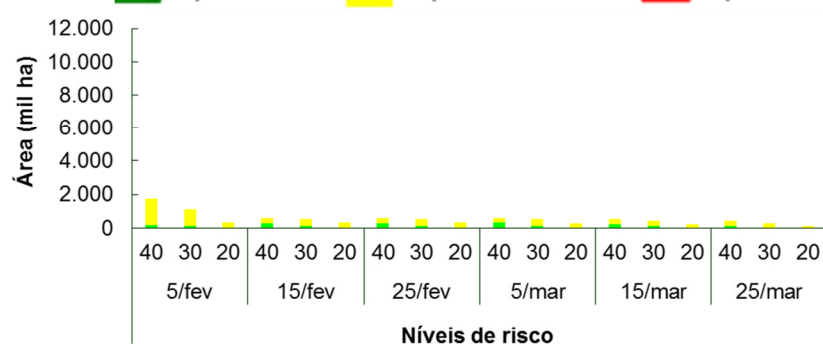
APÊNDICE 23. Distribuição espacial das áreas favoráveis para cultivares de trigo sequeiro do **grupo II** (115 dias), (níveis de impacto por deficiência hídrica baixo, moderado e elevado), na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, solos com capacidade de água disponível de **75 mm**, níveis de risco de 20%, 30% e 40%, considerando a interação dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 x **agricultura anual x altitude entre 400 e 600 m**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 de fevereiro e 5, 15 e 25 de março (BRASIL, 2015, 2016; USGS, 2016).



APÊNDICE 24. Distribuição espacial das áreas favoráveis para cultivares de trigo sequeiro do **grupo III** (125 dias), (níveis de impacto por deficiência hídrica baixo, moderado e elevado), na Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo 4 (RHACT 4), bioma Cerrado, solos com capacidade de água disponível de **75 mm**, níveis de risco de 20%, 30% e 40%, considerando a interação dos planos de informação do **ZARC** trigo sequeiro 2016/2017 x **agricultura anual** x **altitude entre 400 e 600 m**, em semeaduras centradas em 5, 15 e 25 de fevereiro e 5, 15 e 25 de março (BRASIL, 2015, 2016; USGS, 2016).



Impacto baixo Impacto moderado Impacto elevado



APÊNDICE 25. Distribuição espacial da chuva média mensal nos meses de fevereiro a maio no bioma Cerrado (série histórica 1961 – 1990) WORLDCLIM (2016).

