

SILVANDO CARLOS DA SILVA

UFV	REF. BIBLIOTECA	BBT	ISBN	RG000763007
	CLASSIFICACAO T 630.2515 / S586e / 1997			
TITULO Estudo e analise espaco-temporal do risco				
				
133376 BBT				

BIBLIOTECA CENTRAL - UFV - 133.376 27.06.97
--

ESTUDO E ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO RISCO CLIMÁTICO NO
ARROZ DE SEQUEIRO, EM ÁREAS CONSTITUÍDAS DE AREIA
QUARTZOSA E LATOSSOLO, NO ESTADO DE GOIÁS.

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do curso de Meteorologia
Agrícola, para obtenção do Título
de "Magister Scientiae".

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
MARÇO - 1997

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

S586e
1997

Silva, Silvando Carlos da, 1957-

Estudo e análise espaço-temporal do risco climático no
arroz de sequeiro, em áreas constituídas de areia quartzosa
e latossolo, no Estado de Goiás / Silvando Carlos da Silva.
- Viçosa : UFV, 1997.
78p. : il.

Orientador: Ricardo Seixas Brites

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa, 1996.

1. Arroz de sequeiro - Zoneamento climático. 2. Arroz de
sequeiro - Risco climático. 3. Sistemas de Informação Geo-
gráficas - Aplicações. 4. Arroz de sequeiro - Balanço
hídrico. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD.19.ed. 630.2515


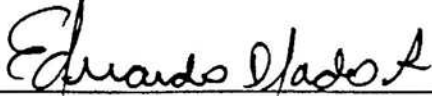

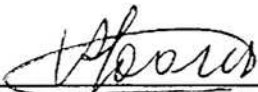
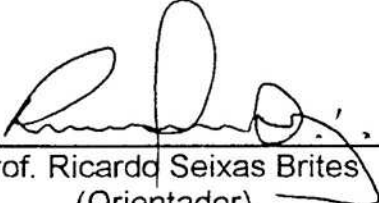
CDD.20.ed. 630.2515

SILVANDO CARLOS DA SILVA

ESTUDO E ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO RISCO CLIMÁTICO NO
ARROZ DE SEQUEIRO, EM ÁREAS CONSTITUÍDAS DE AREIA
QUARTZOSA E LATOSSOLO, NO ESTADO DE GOIÁS.

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do curso de Meteorologia
Agrícola, para obtenção do Título
de "Magister Scientiae".

APROVADA: 28 de novembro de 1996.

 _____ Prof. Gilberto Chohaku Sedyama (Conselheiro)	 _____ Dr. Eduardo Delgado Assad (Conselheiro)
 _____ Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho	 _____ Prof. Vicente Paulo Soares
 _____ Prof. Ricardo Seixas Brites (Orientador)	

A Deus.

À minha esposa e minha filha: **Marleny e Daniella.**

Ao meu filho **THIAGO**, que me ensinou que amar a todos não exige perfeição.

Aos meus pais: **Sebastiana (in memoriam) e João.**

AGRADECIMENTO

Ao professor Ricardo Seixas Brites, pela orientação, pelos ensinamentos e principalmente pela compreensão e paciência.

Ao pesquisador da EMBRAPA, Eduardo Delgado Assad, pelas valiosas críticas e sugestões, que contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao professor José Carlos Seraphin da UFG, pelo apoio na área de estatística.

A todos os colegas, professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pela amizade.

Aos colegas do Laboratório de Biofísica Ambiental do CPAC/EMBRAPA: Fernando Antonio Macena da Silva, José Lourenço de Oliveira filho, Anselmo Cristiano de Oliveira e em especial a Heleno da Silva Bezerra, pelo apoio durante a utilização do SGI.

Aos colegas do Laboratório de Informática do CNPAF/EMBRAPA: Reinaldo Paulino da Silva, Sergio Lopes Júnior, Gilson de Oliveira e Celina Alves Avelino de Moura, pelo apoio e colaboração.

Aos colegas do Laboratório de Agrometeorologia do CNPAF/EMBRAPA: José Cardoso Pelegrini e Elza Jacqueline Leite Meireles, pelo auxílio no tratamento das informações meteorológicas e ao geógrafo Luciano de Sousa Xavier, pelo apoio na computação gráfica.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), através do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, pela oportunidade e apoio concedidos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo apoio financeiro.

BIOGRAFIA

SILVANDO CARLOS DA SILVA, filho de Sebastiana Carlos da Silva e João Manuel da Silva, nasceu em Sapé-PB em 16 de abril de 1957.

Em janeiro de 1983, graduou-se em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

É pesquisador do CNPAF/EMBRAPA desde setembro de 1989.

Em março de 1994, iniciou o Curso de pós-graduação em Meteorologia agrícola em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa.

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE SÍMBOLOS	xiii
EXTRATO	xv
ABSTRACT	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Relação solo-água planta	2
1.2. Utilização de modelos computacionais de balanço hídrico	6
1.3. Uso de um sistema de informações geográficas	9
1.4. Objetivos	13
2. MATERIAIS E MÉTODOS	14
2.1. Validação do modelo de balanço hídrico utilizado	16
2.2. Parâmetros de entrada do modelo	16
2.2.1. Precipitação pluvial diária	16
2.2.2. Capacidade de armazenamento de água no solo (AD)	19
2.2.3. Coeficiente de cultura (Kc)	22
2.2.4. Evapotranspiração Potencial (Etp)	23
2.2.5. Cultivar de arroz de sequeiro estudada	24
2.3. Rotina de cálculo do modelo	27
2.4. Produto do modelo	29

	Página
2.5. Digitalização do mapa de solos	31
2.6. Espacialização do risco climático (ETr/ETm)	31
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
3.1. Validação do modelo utilizado	35
3.2. Evapotranspiração potencial	35
3.3. Espacialização do risco climático em áreas constituídas de Areia Quartzosa (AQ) e Areia Quartzosa Hidromórfica (AQH) .	36
3.4. Espacialização do risco climático em áreas constituídas de Latosolo Vermelho-Escuro (LE) e Latossolo Vermelho- Amarelo (LV)	53
4. CONCLUSÕES	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Estações pluviométricas com as coordenadas geográficas e série dos anos estudados	17
2. Valores decendiais do coeficiente de cultura para o arroz de sequeiro	23
3. Estações utilizadas para o cálculo da evapotranspiração potencial, coordenadas geográficas e série dos anos estudados .	25
4. Divisão do ano por decêndio	26
5. Valores decendiais de evapotranspiração potencial durante os 36 decêndios do ano, para as localidades estudadas	37
6. Distribuição percentual do risco climático (B - baixo, M - médio e A - alto) em áreas de areia quartzosa, segundo data de semeadura	68
7. Distribuição percentual do risco climático (B - baixo, M - médio e A - alto) em áreas de latossolo, segundo data de semeadura	69

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Precipitação e armazenamento de água estimado (-) e observado (+) no solo (0-130cm) com cultura do trigo em Ponta Grossa-PR, em 1988	7
2. Precipitação e armazenamento de água estimado (-) e observado (+) no solo (0-130cm) com cultura do arroz em Paranaíba-PR, em 1988/1989	7
3. Precipitação e armazenamento de água estimado (-) e observado (+) no solo (0-130cm) com cultura do milho em Paranaíba-PR, em 1988/1989	8
4. Analogia entre a evapotranspiração real simulada pelo modelo e a medida "in situ"	9
5. Localização geográfica do Estado de Goiás	15
6. Distribuição espacial das estações pluviométricas	20
7. Caracterização das classes de solos que constituem as áreas do Estado de Goiás	32
8. Dispersão dos valores do estoque hídrico medido e simulado e a equação de regressão linear	36
9. Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 01/11	39

	Página
10. Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 05/11	40
11. Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 15/11	41
12. Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 25/11	42
13. Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 30/11	43
14. Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 05/12	44
15. Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 15/12	45
16. Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 25/12	46
17. Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 30/12	47
18. Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 05/01	48
19. Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 15/01	49
20. Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 25/01	50
21. Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 30/01	51

	Página
22. Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 01/11	54
23. Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 05/11	55
24. Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 15/11	56
25. Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 25/11	57
26. Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 30/11	58
27. Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 05/12	59
28. Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 15/12	60
29. Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 25/12	61
30. Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 30/12	62
31. Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 05/01	63
32. Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 15/01	64
33. Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 25/01	65

34. Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 30/01	66
---	----

LISTA DE SÍMBOLOS

CAD	- Sistema de análise cartográfica
I	- Irrigação
R	- Escoamento superficial
P	- Precipitação pluvial
DR	- Drenagem
DH	- Variação da umidade do solo
ETr	- Evapotranspiração real
LAT	- Latitude
LONG	- Longitude
ALT	- Altitude
CC	- Capacidade de campo
PMP	- Ponto de murcha permanente
AD	- Capacidade de armazenamento de água disponível no solo
Pe	- Profundidade do sistema radicular
Da	- Densidade aparente do solo
Kc	- Coeficiente de cultura
ETP	- Evapotranspiração potencial
MF	- Fator mensal dependente da latitude
T	- Temperatura do ar
CH	- Correção da umidade relativa do ar
UR	- Umidade relativa do ar

- EPC - Evapotranspiração da cultura
- Zum - Profundidade da frente de umidificação do solo
- W - Estoque atual de água disponível na zona de solo que pode ser potencialmente explorada pelas raízes.
- Srad - Estoque que efetivamente é explorado pelo sistema radicular
- Ssup - Estoque na camada superficial do solo
- PZR - Água percolada sob a zona radicular
- ES - Evaporação da água do solo
- ETm - Evapotranspiração máxima
- LE - Latossolo Vermelho-Escuro
- LR - Latossolo roxo
- LV - Latossolo vermelho-Amarelo
- TR - Terra Roxa Estruturada
- PVE - Podzólico Vermelho-Escuro
- PE - Podzólico Vermelho-Amarelo
- PV - Podzólico Vermelho Amarelo Distrófico
- PVL - Podzólico Vermelho Amarelo Latossólico
- BV - Brunizem Avermelhada
- SP - Solos Petroplínticos
- C - Cambissolos
- AQ - Areia Quartzosa
- R - Solos Litólicos
- PT - Plintossolos
- G - Gleissolos
- AQH - Areia Quartzosa Hidromórfica

EXTRATO

SILVA, Silvando Carlos da. M.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 1997. **Estudo e análise espaço-temporal do risco climático no arroz de sequeiro, em áreas constituídas de areia quartzosa e latossolo, no Estado de Goiás.** Orientador: Ricardo Seixas Brites. Conselheiros: Gilberto C. Sedyama e Eduardo Delgado Assad.

Este trabalho objetivou estimar o risco climático na cultura do arroz de sequeiro, para diferentes datas de plantio, em solos classificados como Areia Quartzosa, Areia Quartzosa Hidromórfica, Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, e mostrar o desempenho do sistema de informações geográficas, desenvolvido pelo INPE, na espacialização dos valores estimados que definem o risco climático. Os resultados demonstram a grande variabilidade pluviométrica em Goiás, pois, para uma mesma região, o risco climático pode variar com até cinco dias. Observa-se também que, quanto maior for o retardamento do plantio do arroz de sequeiro maiores serão os riscos climáticos, principalmente se a semeadura for realizada em meados do mês de janeiro. Além disso, os dados mostram que o risco climático tende a aumentar de Norte para Sul e de Oeste para Leste. O sistema de informações geográficas, desenvolvido pelo INPE, demonstrou ser um instrumento de suma importância na espacialização do risco climático para a cultura do arroz de sequeiro no Estado de Goiás. Finalmente,

os resultados obtidos neste estudo fornecem informações importantes para escalonamento de plantios e planejamento de política agrícola, bem como para definição de novas diretrizes de pesquisa nas áreas que apresentam condições de alto risco climático para o plantio do arroz de sequeiro em Goiás.

ABSTRACT

SILVA, Silvando Carlos da. M.S., Federal University of Viçosa, March of 1997.
Time space study and analysis of climate risc on rain-fed rice cropping in quartz sand and latosol areas in Goiás State. Advisor: Ricardo Seixas Brites. Committee members: Gilberto Chahaku Sedyama and Eduardo Delgado Assad.

This dissertation reports the study of estimating the risk by erratic rainfall distribution on upland rice grown on sandy soil, hydromorphic sandy soli, red oxisol and yellow oxisol, of the state of Goiás, and also the evaluation of the performance of the GIS model developed by INPE, in mapping and defining the regions with the estimated values of the climatical risk. The result of this study showed the great variation in rainfall or precipitation in the State of Goiás, where in the same region the climatical risk can vary from 1 to 5 days. The later the planting date of the upland rice in the region the greather the risk, especially when the planting date was later than mid january. Furthermore there are increasing climatical risk going southwards and eastwards, following the rainfall pattern in the State of Goiás, when precipitation is lower in the southern and in the eastern regions, compared to the northern and western regions, respectively. The GIS developed by INPE present an important contribution to demonstrate these risk differences in spatial visualization for the upland rice in the State of Goiás. The result also offer the possibilities for

recommendation of the planting date in the regions, the agriculture policy planing, and lastly to serve as feedback for future research plan and the high risk regions in the State of Goias.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o arroz de sequeiro é cultivado em aproximadamente 4,2 milhões de hectares e contribui com aproximadamente 43% do total de arroz produzido no país (FAGERIA et al., 1994).

A rizicultura de sequeiro é de grande importância econômica e social para o Estado de Goiás, devido ao elevado número de produtores que cultivam o arroz de sequeiro.

O Estado de Goiás está localizado em uma região caracterizada por um período chuvoso que inicia em outubro e termina em abril. Por esta razão e devido à irregularidade na distribuição pluvial nesse período, o risco climático, que é caracterizado pela quantidade de água no solo disponível para as culturas, é acentuado em função da diminuição freqüente na quantidade de água para as culturas. Muitas vezes, esta irregularidade pluviométrica é traduzida por períodos sem chuva que duram de 5 a 35 dias, podendo provocar redução na produção de grãos. Entretanto, acredita-se que o efeito causado pela diminuição de água pode ser minimizado conhecendo-se as características pluviométricas da região e o comportamento das culturas em suas diferentes fases fenológicas, ou seja, plantando naqueles períodos em que a probabilidade de diminuição da precipitação pluvial é menor durante a fase de florescimento-enchimento dos grãos.

Certos cultivares de arroz apresentam rendimento muito variado quando cultivados em diferentes localidades e estações do ano (AKITA, 1995).

Os estudos sobre os elementos climáticos são importantes para avaliação da potencialidade dos cultivares de arroz de sequeiro, bem como para caracterização de determinada região de acordo com suas características climáticas.

Para explicar a ação dos elementos climáticos sobre a produção do arroz de sequeiro, torna-se necessário investigar seus efeitos sobre o rendimento deste arroz.

Neste estudo, entretanto, o único elemento ambiental limitante à produção do arroz de sequeiro foi a precipitação pluvial, pois, no período definido para a realização deste estudo, a temperatura e a radiação solar não são limitantes. Os valores médios de temperatura do ar e da radiação solar, em Goiás, são aproximadamente 24°C e 300 cal.cm⁻².dia⁻¹, respectivamente (Brasil. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, 1992). Em condições nas quais predominam valores semelhantes a estes, o desenvolvimento do arroz de sequeiro não será afetado.

1.1. Relação solo-água-plantas

A chuva é um dos elementos climáticos essenciais para a produção do arroz de sequeiro, pois afeta o desenvolvimento das plantas, as características físico-químicas e biológicas do solo, a natureza e amplitude do crescimento de plantas daninhas (DE DATTA et al., 1979).

A cultura do arroz de sequeiro é considerada de alto risco climático, principalmente por depender excessivamente da precipitação pluvial.

A produtividade do arroz de sequeiro oscila ao longo dos anos e os elementos climáticos mais importantes para a justificativa deste problema são a quantidade e distribuição da precipitação pluvial.

A diminuição da quantidade de água nas plantas afeta praticamente todos os aspectos relacionados ao seu desenvolvimento, pois reduz a área foliar, diminui a fotossíntese e altera o ambiente físico das culturas modificando o balanço de energia do sistema (BERGAMASCHI, 1990).

GUPTA e O'TOOLE (1986) concluíram que, em regiões sujeitas ao estresse hídrico, os cultivares a serem plantados devem possuir mecanismos

que possibilitem a manutenção de um potencial hídrico da folha relativamente alto em contraposição à demanda evapotranspirativa, ou seja: alta relação raiz/parte aérea, moderado perfilhamento, grande elasticidade no enrolamento e desenrolamento foliar, precocidade, resistência ao acamamento, ampla adaptabilidade e alto índice de colheita.

Na planta, o estresse hídrico é caracterizado por uma redução de seu potencial hídrico, resultando em perda de turgescência, fechamento dos estômatos e redução no crescimento.

Os componentes principais do potencial hídrico da planta são: potencial osmótico, devido às substâncias dos elementos dissolvidos; potencial matricial, devido à matriz (paredes, membranas, organelas, etc.); e potencial de pressão, que se contrapõe aos anteriores e é devido à resistência oferecida pelas paredes celulares. Assim, como no solo, o potencial hídrico na planta torna-se mais negativo à medida que seu conteúdo hídrico diminui.

A absorção de água pelas raízes e seu transporte através do caule até às folhas ocorrem obedecendo a diferença de potencial, vencendo as resistências do solo e do sistema de condução da planta. Em condições de solo úmido, normalmente a maior resistência ao fluxo de água líquida está na endoderme das raízes. Entretanto, se o solo estiver seco, sua baixa condutividade hidráulica implicará em resistência que poderá ser muito maior do que a da planta.

Assim, a diminuição do estado energético da água na planta, devido à transpiração, acentua a diferença de potencial e, conseqüentemente, o fluxo de água do solo às folhas. No entanto, a planta não funciona como um simples conduto através do qual a água passa do solo à atmosfera. Em condições de estresse hídrico acentuado, a planta pode restringir a transpiração através do fechamento parcial ou total dos estômatos. Atingindo um potencial crítico na folha, a resistência estomática à difusão de vapor aumenta em função da perda de turgidez das células do mesófilo e da epiderme e das células-guarda dos estômatos, que se fecham.

Com o fechamento estomático, ocorre uma redução na transpiração da planta (SUTCLIFFE, 1980). Realmente, haverá uma diminuição no suprimento de CO₂, afetando a atividade enzimática e concorrendo para queda na fotossíntese (CRAFTS, 1968).

Segundo KRAMER (1974), o estresse hídrico causa redução da fotossíntese e diminuição na translocação de carboidratos.

Embora a água seja importante durante todo o ciclo de qualquer planta, a maioria das culturas possuem períodos críticos, durante os quais a falta de água reduz, acentuadamente, seus rendimentos.

Segundo VERGARA et al. (1969), a duração do ciclo da planta de arroz de sequeiro pode ser dividida em fases: vegetativa, que estende-se da germinação à iniciação da panícula; reprodutiva que estende-se da iniciação da panícula ao florescimento; e maturação que estende-se do florescimento à maturação.

Em condições tropicais, a cultura do arroz de sequeiro apresenta duração da fase reprodutiva em torno de 35 dias enquanto a fase de maturação abrange de 30 a 35 dias (VERGARA, 1970).

No caso do arroz de sequeiro, a ocorrência de um período de estresse hídrico durante a fase vegetativa pode reduzir a altura da planta, o número de perfilhos e área foliar. No entanto, a planta pode recuperar-se deste atraso no crescimento se sua necessidade hídrica for suprida a tempo para permitir a recuperação antes da floração (YOSHIDA e PARAO, 1976). Ainda em relação à fase vegetativa, O'TOOLE e MOYA (1981) e REYNIERS et al. (1982) citam que na cultura do arroz de sequeiro, geralmente quando o estresse hídrico ocorre na fase vegetativa, a queda no rendimento da cultura não é muito alta. Por outro lado, se o estresse hídrico ocorrer durante o período reprodutivo da planta de nada adiantará supri-la de água nas fases seguintes, porque o processo é irreversível (MATSUSHIMA, 1962).

HSIAO (1982) observou que a maior queda no rendimento da cultura do arroz ocorreu quando o estresse hídrico máximo coincidiu com a fase de florescimento-enchimento dos grãos.

O arroz de sequeiro é considerado como sendo uma das espécies muito exigente em água. O período mais sensível à falta de água compreende de 14 a 21 dias antes e 20 a 25 dias depois da floração (DAKER, 1973). Quebras no rendimento são especialmente acentuadas durante o florescimento devido ao efeito irreversível do estresse hídrico sobre os processos relacionados ao desenvolvimento reprodutivo, resultando em esterilidade e dessecação de espiguetas (PINHEIRO, 1989).

STONE (1982) observou que, em condições de estresse hídrico, a cultura do arroz de sequeiro apresentou reduções no número de grãos cheios por panícula, no peso dos grãos, no rendimento total de matéria seca, na altura da planta e no índice de colheita, bem como aumento na porcentagem de grãos vazios.

É fundamental ressaltar que quanto maior a capacidade de armazenamento de água no solo, menores serão os riscos climáticos para a cultura do arroz de sequeiro. Assim, torna-se necessário adotar técnicas que permitam aprofundar o enraizamento das plantas e, ou, aumentar a capacidade de armazenamento de água no solo. Tais técnicas incluem a aração profunda do solo com pré-incorporação dos restos culturais, visando melhorar o seu perfil e aumentar o desenvolvimento radicular em maior profundidade (SÉGUY et al., 1984; STONE et al., 1984 e KLUTHCOUSKI et al., 1991). A adubação profunda estimula o desenvolvimento do sistema radicular, propiciando melhor exploração de água disponível (EMBRAPA, 1976, 1982 e STONE et al., 1980).

A utilização de tecnologias inadequadas ao preparo do solo contribui para reduzir ainda mais a disponibilidade de água. A compactação do solo dificulta o enraizamento, a infiltração e o armazenamento da água facilitando a ação da erosão laminar (SÉGUY et al., 1984) e concorrendo para que a maior concentração de raízes esteja nos primeiros 10 centímetros (KLUTHCOUSKI et al., 1991).

Em relação ao consumo total de água, o arroz de sequeiro consome em torno de 30%, 55% e 15% nas fases vegetativa, reprodutiva e de maturação, respectivamente (FAGERIA, 1989). O consumo médio da cultura do arroz de sequeiro, durante todo o ciclo, é aproximadamente 600 mm (MANZAN, 1984).

Portanto, é evidente que na cultura do arroz de sequeiro, a diminuição de água concorre para a queda na produção. Para diminuir os efeitos negativos decorrentes da redução hídrica, torna-se necessário plantar em datas nas quais a fase de florescimento-enchimento dos grãos coincide com o período de maior quantidade de chuvas. Para isto, acredita-se que um estudo sobre o balanço hídrico do solo possibilitará caracterizar os períodos de maior e menor quantidade de precipitação pluvial.

1.2. Utilização de modelos computacionais de balanço hídrico

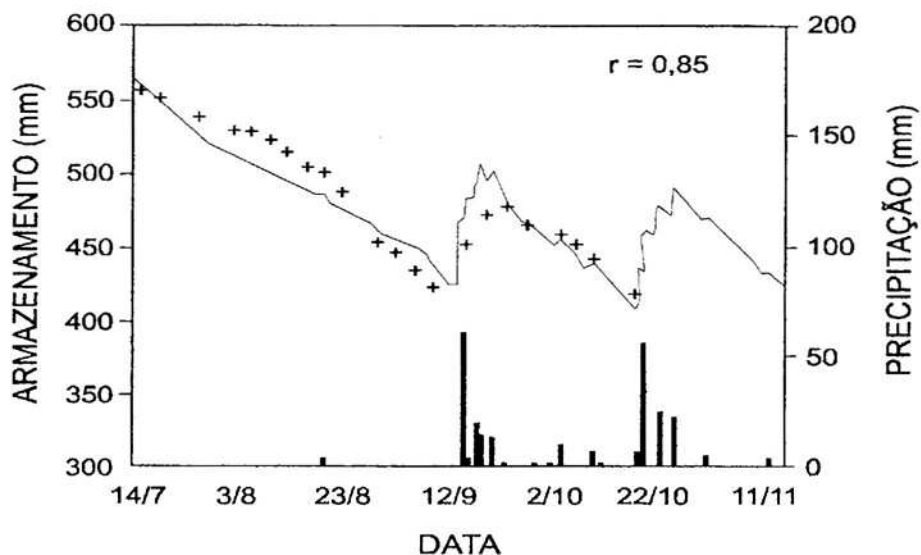
Vários estudos mostram que a definição das épocas de plantio por meio do balanço hídrico no solo para a cultura, pode contribuir para diminuição do risco climático conseqüente à falta de água, não apenas no arroz de sequeiro mas também em outras culturas, como demonstram os trabalhos de ASSAD (1986); SANS e GOODWIN (1978); STEINMETZ et al. (1985); e SILVA et al. (1994).

Atualmente observa-se um grande interesse na investigação da interação entre solo, clima e produção agrícola utilizando modelos computacionais. Vários modelos para estimativa de rendimento de culturas estão sendo utilizados por pesquisadores de diversas partes do mundo. Estes pesquisadores vêm testando a habilidade dos modelos em simular, por exemplo, a produção da biomassa e o rendimento de grãos.

Os primeiros modelos de simulação da produção de culturas foram desenvolvidos em 1970 (Bowen et al., 1973; Stapleton, 1970) citados por HOOGENBOON et al. (1992).

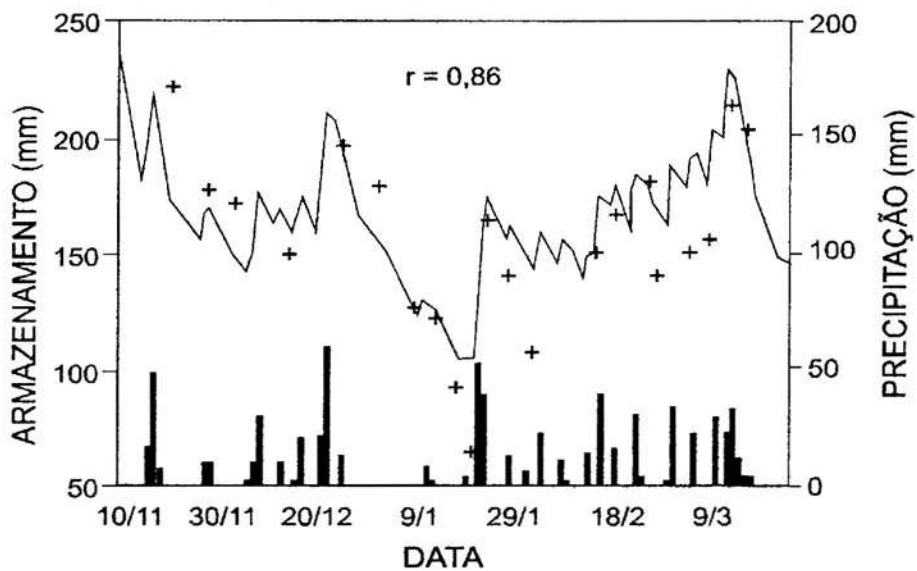
A aplicação de modelos de simulação do desenvolvimento de culturas destaca-se como opção de grande potencial para a análise das respostas de culturas ao ambiente. No entanto, o emprego destes modelos deve ser precedido por teste de validação que possibilite sua aplicação em condições diferentes daquelas em que foi desenvolvido, devido à utilização de relações empíricas neles inseridas (CUNHA et al., 1995).

Nessa linha de estudo, FARIAS et al. (1993) verificaram o desempenho do modelo **Versatile Soil Moisture Budget** (DYER e MACK, 1984) na quantificação de água que o solo pode armazenar, utilizando as culturas de arroz, trigo e milho. O modelo estima dados diários de armazenamento de água para cada camada do perfil do solo, evapotranspiração real, lâminas de escoamento superficial, drenagem profunda e condições de excesso e déficit hídrico. Eles concluíram que o modelo mostrou-se eficiente na estimativa dos parâmetros apresentando alta correlação com os dados observados, conforme verifica-se nas Figuras 1; 2 e 3.



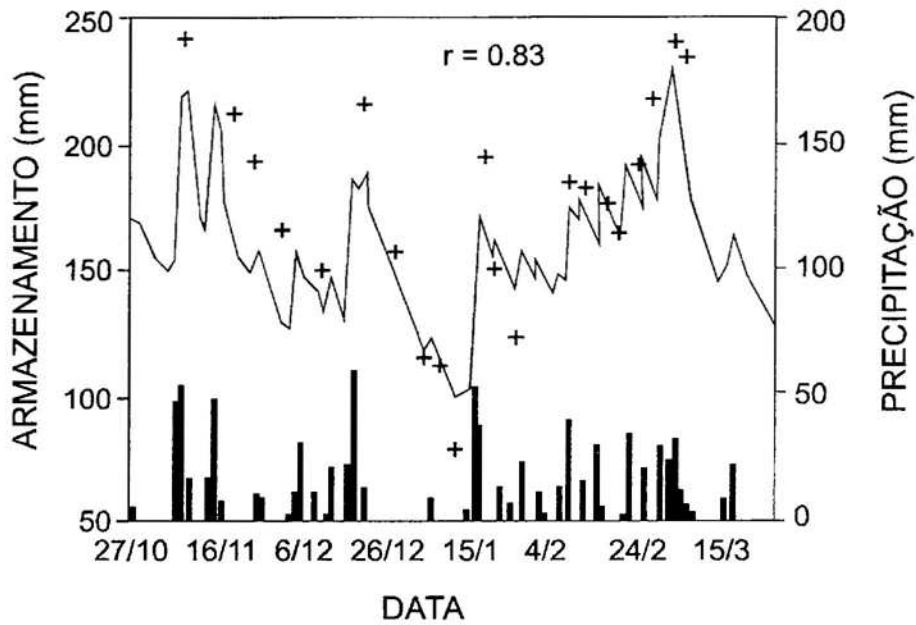
Fonte: (FARIAS et al., 1993).

Figura 1 - Precipitação e armazenamento de água estimado (-) e observado (+) no solo (0-130cm) com cultura do trigo em Ponta Grossa-PR, em 1988.



Fonte: (FARIAS et al., 1993).

Figura 2 - Precipitação e armazenamento de água estimado (-) e observado (+) no solo (0-130cm) com cultura do arroz em Paranavaí-PR, em 1988/1989.

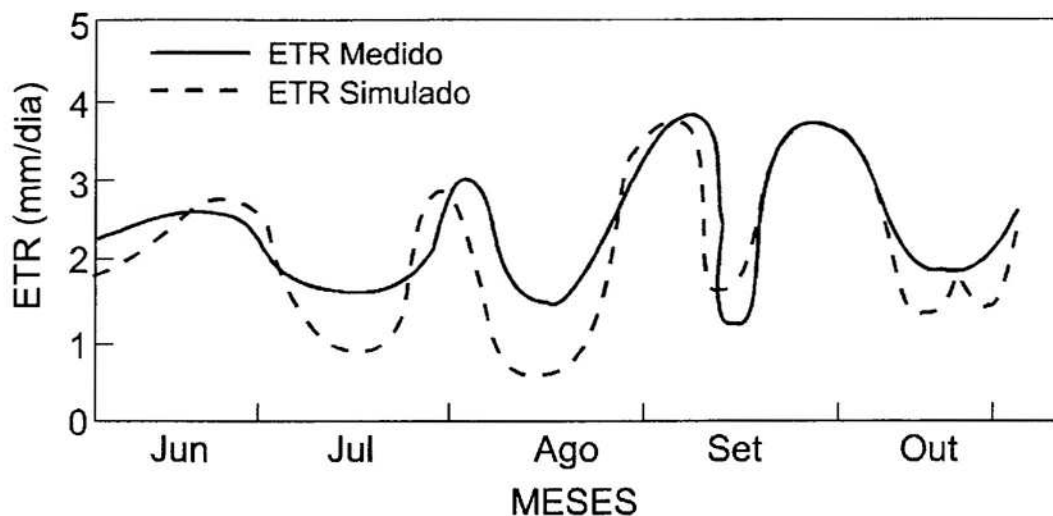


Fonte: (FARIAS et al., 1993).

Figura 3 - Precipitação e armazenamento de água estimado (-) e observado (+) no solo (0-130cm) com cultura do milho em Paranavaí-PR, em 1988/1989.

Também FOREST e REYNIERS (1986), utilizando o modelo de balanço hídrico **BIP4** (FOREST e REYNIERS, 1986), verificaram que a evapotranspiração real estimada pelo modelo apresentou estreita correlação com a evapotranspiração real medida na cultura do arroz, comprovando, portanto, a validade do modelo na estimativa deste parâmetro que é importante não apenas para a previsão de safras, mas também para o manejo de irrigação (Figura 4).

Em sua maioria, os trabalhos realizados, utilizando modelos computacionais que simulam diversas situações entre as interações solo-planta-atmosfera, têm carácter pontual, são bem localizados e não têm expressão regional. A regionalização dos elementos agroclimáticos que definem a produtividade das culturas, tais como precipitação pluvial, evapotranspiração potencial e outros, exige uma análise mais abrangente tanto no tempo quanto no espaço.



Fonte: (FOREST e REYNIERS, 1986).

Figura 4 - Analogia entre a evapotranspiração real simulada pelo modelo e a medida "in situ".

1.3. Uso de um sistema de informações geográficas

Recentemente, a expansão da utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) tem permitido a caracterização espaço-temporal de variáveis ambientais, dentre as quais incluem-se as agroclimáticas.

O desenvolvimento de sistemas computacionais para aplicações gráficas vem cada vez mais influenciando as áreas de cartografia, mapeamento, análise de recursos naturais e planejamento urbano e regional.

Segundo FELGUEIRAS (1987), os SIGs são sistemas que automatizam tarefas realizadas manualmente e facilitam a realização de análises complexas, através da integração de dados geocodificados.

O SIG tem como características principais a capacidade de coletar, armazenar e recuperar, armazenar e integrar informações provenientes de fontes e formatos distintos, além de possibilitar a disponibilidade de programas computacionais para edição de mapas, textos e gráficos (MARBLE e PEUQUET, 1983).

CLARKE (1986) definiu um Sistema de Informações Geográficas (SIG) como um sistema apoiado por computador para a captura, armazenagem, recuperação, análise e exibição de dados espaciais. TOMLINSON (1972) estabeleceu que o SIG não constitui um campo por si mesmo, mas um grupo comum entre o processamento de informações e os vários campos que utilizam técnicas de análise espacial. No entanto, esta definição é incompleta porque um sistema de informações consiste em vários subsistemas integrados que possibilitam a conversão, armazenagem, recuperação e saída de informações geográficas.

GOODCHILD (1987) definiu SIG como um sistema que utiliza a análise de dados espaciais gerando respostas para questões de natureza geográfica podendo, genericamente, ser visto como um conjunto de rotinas espaciais especializadas a partir de um sistema padronizado de manejo de dados relacionados a informações de coordenadas geográficas. No entanto, a diferenciação de um sistema SIG de um simples sistema de análise cartográfica (CAD) pode ser esclarecida observando-se as funções que tais sistemas possuem. Um sistema cartográfico pode adequar-se muito bem para o desenho de mapas, porém, como não apresenta a ferramenta de análise matemática e estatística, neste sentido ele é muito limitado quando comparado com um sistema SIG. Além disso, um sistema CAD constitui ferramenta para capturar desenhos em formatos legíveis por meio de máquina. Os modelos CAD tratam os dados como sendo desenhos em formato eletrônico em coordenadas do papel e, muitas vezes, exigem regularidades nos objetos. Ao contrário, em um sistema de geoprocessamento, poucas simetrias e regularidades apresentadas pelos dados podem ser reproduzidas. Além disso, os dados estão sempre georeferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e, em sua maioria, estão de acordo com a projeção cartográfica que impõe deformações nas grandezas lineares e, ou, angulares (ENGESPAÇO, 1996).

Uma característica básica e geral em um SIG consiste em sua capacidade para tratar as relações espaciais entre objetos geográficos. A capacidade de armazenar a topologia (estrutura de relacionamentos espaciais tais como vizinhança, proximidades, pertinência, entre objetos geográficos) de

um mapa é uma das características principais que distinguem um SIG de um sistema CAD.

Em grande parte das aplicações de CAD os desenhos não possuem atributos descritivos, mas apenas propriedades gráficas como a cor e espessura. No geoprocessamento, entretanto, os dados geográficos possuem atributos, o que torna necessário prover meios para consultas, atualização e manuseio de um banco de dados espaciais (ENGESPAÇO, 1996).

SMITH et al. (1987) cita que SIG é um banco de dados indexados espacialmente, sobre o qual opera um conjunto de procedimentos que possibilitam responder a consultas sobre entidades espaciais.

Atualmente está ocorrendo um grande avanço em sistemas especializados na resolução de problemas que normalmente requerem a interpretação humana. Tais sistemas apresentam grande número de áreas nas quais os SIG podem ser aplicados.

FISHER e MACKANESS (1987) consideram a habilidade para "explicar" como sendo um dos critérios fundamentais à definição de sistemas cartográficos especialistas. Contudo, um sistema cartográfico pode ser hábil não apenas para elaborar excelentes mapas como também para explicar as razões pelas quais decisões específicas foram tomadas, posto que podem interagir como linguagem humana natural. Há um grande número de sistemas especialistas descritos como relevantes para SIG como, por exemplo: MAP-AID (ROBINSON & JACKSON, 1985), ACES (PFEFFERKORN et al., 1985), CERBERUS (ENGLE, 1985), e MAPS (MACKEOWN, 1984). Assim, são grande as perspectivas de que esta tecnologia venha a ser cada vez mais incorporada ao SIG.

Existem duas representações computacionais de mapas, isto é: vetoriais e matriciais. A representação vetorial é uma tentativa para reproduzir o mais exatamente possível um elemento ou objeto, enquanto a representação matricial consiste em utilizar uma malha quadriculada regular sobre a qual é construído, célula a célula, o elemento que está sendo representado.

CAMARA (1993) afirmou que um mapa é a representação gráfica de fenômenos geográficos, geralmente em uma superfície plana. Em ambiente computacional, a noção de mapa deve ser estendida no sentido de incluir

diferentes tipos de dados geográficos como imagens de satélites e modelos numéricos de terreno-MNTs (SILVA, 1995).

O modelo numérico de terreno pode ser definido como um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos (X,Y) , em um referencial qualquer, com atributos denotados de z que descrevem a variação contínua da superfície.

Os modelos numéricos de terrenos são utilizados para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Comumente associados à altimetria, também podem ser utilizados para modelar unidades geológicas tais como o teor de minerais, as propriedades do solo ou subsolo, etc.

Para FELGUEIRAS (1987), um MNT é uma representação matemática tratável computacionalmente, que representa a distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real.

Ressalta-se que, na geração de mapas através da tecnologia SIG, podem ocorrer relevantes fontes de erros. Referindo-se a este fato, WALSH et al. (1987) afirmam que duas fontes de erros, inerentes e operacionais, contribuem para a redução da precisão dos produtos gerados por SIG. Erros inerentes são aqueles presentes no documento-fonte. Erros operacionais são aqueles produzidos na captura de dados e na manipulação de funções do SIG. VITEK et al. (1984) discutiram a ocorrência de erros inerentes e operacionais no SIG. Eles demonstraram a necessidade de estabelecimento destes erros para os dados contidos no SIG. Todo mapa pode conter erros inerentes à natureza de projeção do mapa, das técnicas de construção de mapas e da simbolização dos dados. Por outro lado, os erros operacionais são introduzidos durante a entrada, manipulação, extração e comparação de dados com o SIG. Ambos os erros são cumulativos, podendo gerar um produto final de qualidade questionável. Portanto, torna-se necessário um refinamento nas informações a serem manipuladas e muito critério no tratamento das informações geradas pelo SIG.

1.4. Objetivos

O presente estudo teve como objetivos:

- 1 - Estimar o risco climático, para diferentes datas de plantio, para o arroz de sequeiro no Estado de Goiás, em solos classificados como Areia Quartzosa, Areia Quartzosa Hidromórfica, Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, utilizando um modelo de balanço hídrico.

- 2 - Mostrar o desempenho do SGI/INPE na espacialização dos valores estimados que definem o risco climático.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Biofísica Ambiental do CPAC/EMBRAPA (Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados), situado no município de Planaltina-DF, e no Laboratório de Agrometeorologia do CNPAF/EMBRAPA (Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão) em Goiânia, Estado de Goiás, localizado na região Centro-Oeste do Brasil entre os paralelos $13^{\circ} 00'$ e $19^{\circ} 00'S$ e meridianos $46^{\circ} 00'$ e $53^{\circ} 00'$ (Figura 5).

Neste estudo foi utilizado o modelo para cálculo do balanço hídrico diário, BRASDHC (Brasil-Diagnóstico Hídrico das Culturas) derivado do BIPODE desenvolvido por FOREST (1984) e modificado por FRETEAUD et al. (1987), considerando-se o cálculo da evaporação de água do solo e crescimento radicular. VAKSMANN (1990) utilizou o mesmo módulo para o cálculo do balanço hídrico diário, enquanto ALBERGEL et al. (1991) e AFFHOLDER (1995) o utilizaram para o cálculo da perda de água por escoamento superficial. Este modelo é usado rotineiramente em pesquisa agrometeorológica no oeste da África e foi testado em várias situações, conforme os trabalhos de FRETEAUD et al. (1987); ALBERGEL et al. (1991) e POSS (1991).



Figura 5 - Localização geográfica do Estado de Goiás.

Este modelo é baseado no balanço hídrico conforme a equação

$$I + P - R - DR - DH - ETr = 0$$

em que

I = irrigação (mm/dia);

R = escoamento superficial (mm/dia);

P = precipitação pluvial (mm/dia);

DR = drenagem (mm/dia);

DH = variação da umidade do solo (mm/dia); e

ETr = evapotranspiração real (mm/dia).

2.1. Validação do modelo de balanço hídrico utilizado

A validação do modelo de simulação do balanço hídrico foi realizada baseando-se em uma série de dados de umidade de solo observados em três experimentos conduzidos na EMBRAPA/CNPAF, em Goiânia-Go, e publicados nos trabalhos de FRETEAUD (1987). Os ensaios foram realizados em Latossolo Vermelho Escuro e Latossolo Vermelho Amarelo, cultivados com arroz de sequeiro, ciclo de 110 dias, sem limitação nutricional e com controle adequado de pragas, doenças e invasoras. As amostragens de umidade do solo foram obtidas, por meio de sonda de neutrons, a cada 10 cm até à profundidade máxima de 120 cm.

Os valores observados foram comparados com aqueles estimados pelo modelo, através de análise de regressão linear.

2.2. Parâmetros de entrada do modelo

2.2.1. Precipitação pluvial diária

A intensidade da precipitação pluvial é o volume de água que cai por unidade de tempo. Pode ser medida por um período de vários minutos ou um período de horas. Logicamente, para uma mesma intensidade, quanto maior for o período maior será o volume de água coletado.

Segundo Lanna (1993), citado por SILVA (1995), os processos hidrológicos são aleatórios, ou seja, não é possível saber que evolução terão os valores de precipitação ao longo do tempo e espaço. Tal fato, conseqüentemente, gera dificuldades básicas no planejamento das atividades agrícolas.

Portanto, acredita-se que a utilização de séries longas de dados e alta densidade de pontos possibilitará um melhor entendimento sobre a distribuição espacial da precipitação pluvial de uma região.

Neste estudo foram utilizadas as séries dos anos de 118 estações pluviométricas, com no mínimo 15 anos de dados diários, conforme Tabela 1. Estes dados foram fornecidos pelo DNAEE (Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica).

Tabela 1 - Estações pluviométricas com as coordenadas geográficas e série dos anos estudados

Nº	NOME DA ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	LAT. (S)	LONG. (W)	ALT. (m)	SÉRIE (ANOS)
01	Fazenda Piratininga	São Miguel do Araguaia	12°45'00"	50°18'00"	200	1974-1995
02	Campos Belos	Campos Belos	13°01'48"	46°46'30"	600	1976-1995
03	Monte Alegre de Goiás	Monte Alegre de Goiás	13°05'24"	46°53'12"	557	1972-1986
04	Entronc. São Miguel	Porangatu	13°07'00"	49°14'00"	396	1975-1995
05	Novo Planalto	São Miguel do Araguaia	13°14'30"	49°30'00"	500	1974-1995
06	São Miguel do Araguaia	São Miguel do Araguaia	13°16'30"	50°10'00"	400	1974-1994
07	São Domingos	São Domingos	13°24'00"	46°19'00"	677	1975-1994
08	Ponte Paraná	Monte Alegre de Goiás	13°25'30"	47°08'12"	557	1969-1989
09	Porangatu	Porangatu	13°27'00"	49°08'00"	600	1975-1994
10	Trombas	Formoso	13°30'12"	48°44'00"	450	1974-1994
11	São Félix	Uruaçu	13°31'42"	48°09'30"	547	1971-1992
12	Sama	Uruaçu	13°31'42"	48°14'36"	547	1969-1994
13	São Vicente	São Domingos	13°32'30"	46°29'06"	677	1975-1989
14	Rio Pintado	São Miguel do Araguaia	13°34'00"	50°24'30"	200	1974-1995
15	Bandeirantes	Bandeirantes	13°41'00"	50°48'00"	200	1974-1995
16	Fazenda Ingazeiro	São Domingos	13°43'24"	46°32'48"	677	1971-1994
17	Cavalcante	Cavalcante	13°47'48"	47°27'30"	823	1969-1991
18	Nova Roma	Nova Roma	13°50'30"	46°49'00"	610	1971-1991
19	Estrela do Norte	Estrêla do Norte	13°52'00"	49°04'00"	453	1972-1994
20	Governador Leonino	Crixás	14°05'00"	50°21'00"	389	1977-1995
21	Alto Paraíso de Goiás	Alto Paraíso de Goiás	14°08'00"	47°30'30"	200	1971-1991
22	Colinas do Sul	Colinas do Sul	14°09'00"	48°04'36"	535	1969-1993
23	Porto Rio Bagagem	Niquelândia	14°20'30"	48°11'00"	373	1971-1993
24	Santa Teresinha de Goiás	Santa Teresinha de Goiás	14°26'00"	49°42'30"	400	1974-1994
25	Flores de Goiás	Flores de Goiás	14°27'00"	47°02'42"	200	1969-1990
26	Lagoa da Flecha	Crixás	14°27'00"	50°50'00"	200	1974-1992
27	Niquelândia	Niquelândia	14°28'24"	48°27'12"	583	1970-1993
28	Alvorada do Norte	Alvorada do Norte	14°29'00"	46°29'30"	490	1970-1989
29	Porto Uruaçu	Uruaçu	14°30'54"	49°01'48"	547	1969-1993
30	São João da Aliança	São João da Aliança	14°42'42"	47°31'12"	200	1969-1989
31	Mozarlândia	Mozarlândia	14°45'24"	50°34'00"	400	1976-1995
32	Pilar de Goiás	Pilar de Goiás	14°45'48"	49°34'30"	850	1974-1994
33	Aruanã	Aruanã	14°49'00"	51°10'00"	215	1971-1994
34	Ponte Quebra Linha	Niquelândia	14°58'24"	48°40'18"	583	1971-1993
35	Nova América	Nova América	15°01'12"	49°53'30"	800	1974-1995
36	Mimoso	Mimoso	15°03'18"	48°09'30"	750	1974-1991
37	Britânia	Britânia	15°14'00"	51°10'00"	300	1974-1995
38	Ceres (Km150 Belém-DF)	Ceres	15°18'30"	49°36'00"	550	1972-1992
39	Goianésia	Goianésia	15°19'00"	49°07'00"	650	1965-1993
40	Jeroaquara	Goiás	15°22'30"	50°30'00"	400	1974-1995
41	Fazenda Santa Sé	Formosa	15°24'00"	47°27'00"	916	1970-1991
42	Planaltina	Planaltina	15°27'12"	47°36'48"	1000	1974-1991
43	Uruanã	Uruanã	15°30'00"	49°41'00"	586	1965-1994
44	Fazenda Travessão	Aruanã	15°32'00"	50°42'00"	450	1974-1995
45	Itapuranga	Itapuranga	15°33'42"	49°56'54"	651	1970-1995
46	CPAC - Planaltina	Planaltina	15°35'30"	47°42'30"	1000	1980-1994
47	Santa Fé de Goiás	Jussara	15°41'00"	51°16'00"	400	1974-1994
48	Jaraguá	Jaraguá	15°45'30"	49°19'30"	666	1965-1992
49	Cabeceiras	Cabeceiras	15°47'00"	46°59'00"	900	1974-1994
50	Pirenópolis	Pirenópolis	15°51'00"	48°57'00"	770	1970-1994
51	Goiás	Goiás	15°56'00"	50°08'00"	512	1949-1989
52	Montes Claros de Goiás	Montes Claros de Goiás	15°58'00"	51°20'00"	472	1972-1995
53	Peres	Montes Claros de Goiás	15°58'00"	51°52'00"	472	1977-1995
54	Itaberaí	Itaberaí	16°01'00"	49°48'00"	680	1977-1992

Continua...

Tabela 1, Cont.

Nº	NOME DA ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	LAT. (S)	LONG. (W)	ALT. (m)	SÉRIE (ANOS)
55	Ponte Anápolis-Brasília	Alexânia	16°05'00"	48°30'30"	1096	1977-1991
56	Mingone	Luziânia	16°09'00"	47°56'00"	1000	1974-1994
57	Ouro Verde de Goiás	Ouro Verde de Goiás	16°13'00"	49°11'30"	1000	1977-1994
58	Bom Jardim de Goiás	Bom Jardim de Goiás	16°16'00"	52°07'00"	504	1979-1993
59	Córrego do Ouro	Córrego do Ouro	16°17'18"	50°33'00"	700	1974-1995
60	Inhumas	Inhumas	16°18'00"	49°30'00"	770	1976-1994
61	Ponte Branca	Ponte Branca	16°22'00"	52°39'00"	380	1975-1989
62	Israelândia	Israelândia	16°22'00"	50°54'00"	400	1974-1995
63	São Ferreira	Piranhas	16°26'00"	51°25'00"	400	1974-1995
64	Anicuns	Anicuns	16°28'00"	49°56'24"	605	1975-1994
65	Iporá	Iporá	16°28'00"	51°07'00"	400	1978-1993
66	Ponte São Bartolomeu	Cristalina	16°31'00"	47°49'00"	790	1968-1994
67	Goianápolis	Goianápolis	16°31'00"	49°01'00"	900	1975-1994
68	Piranhas	Piranhas	16°31'00"	51°57'00"	600	1974-1995
69	Goiânia-Agronomia	Goiânia	16°40'00"	49°16'00"	682	1978-1994
70	Goiânia	Goiânia	16°41'00"	49°16'00"	741	1970-1989
71	CCTA-Sec. da Agric.	Goiânia	16°43'00"	49°07'00"	755	1977-1995
72	Cachoeira de Goiás	Cachoeira de Goiás	16°44'00"	50°39'00"	800	1974-1995
73	Cristalina	Cristalina	16°45'00"	47°37'00"	1189	1974-1994
74	Trindade	Trindade	16°48'00"	49°29'00"	600	1977-1995
75	Palmeiras de Goiás	Palmeiras de Goiás	16°49'00"	49°56'00"	700	1977-1995
76	Aragoiânia	Aragoiânia	16°56'00"	49°26'00"	859	1978-1995
77	Caiapônia	Caiapônia	16°57'00"	51°50'00"	692	1969-1995
78	Bela Vista de Goiás	Bela Vista de Goiás	16°58'00"	48°57'00"	803	1950-1965
79	Ponte São Marcos	Cristalina	17°00'00"	47°12'00"	806	1978-1994
80	Paraúna	Paraúna	17°01'00"	50°26'00"	721	1979-1994
81	Fazenda Boa Vista	Varjão	17°05'00"	49°40'00"	587	1977-1995
82	Fazenda Nova (do Turvo)	Paraúna	17°05'00"	50°15'00"	509	1976-1994
83	Montes Claros	Orizona	17°10'00"	48°10'00"	806	1977-1995
84	Cristianópolis	Cristianópolis	17°13'00"	48°45'00"	703	1977-1995
85	Edéia (Alegrete)	Edéia	17°18'00"	49°55'00"	500	1977-1995
86	Ponte Rodagem	Paraúna	17°19'00"	50°36'00"	721	1976-1994
87	Montividiu (Chapadão)	Montividiu	17°19'00"	51°15'00"	821	1976-1994
88	Fazenda Paraíso	Rio Verde	17°26'00"	50°41'00"	715	1976-1991
89	Fazenda Nicomedes	Mineiros	17°26'00"	52°51'00"	750	1964-1982
90	Pontalina	Pontalina	17°30'00"	49°26'00"	500	1977-1995
91	Ponte do cedro	Mineiros	17°34'00"	52°35'00"	690	1978-1994
92	Campo Alegre de Goiás	Campo Alegre de Goiás	17°40'00"	47°37'00"	800	1978-1995
93	Fazenda São Bernardo	Mineiros	17°41'00"	52°51'00"	750	1971-1994
94	Fazenda Papuá	Morrinhos	17°42'00"	48°51'00"	590	1968-1987
95	Ponte Rio Doce	Jataí	17°42'00"	51°23'00"	696	1979-1993
96	Bom Jardim I	Mineiros	17°44'00"	52°07'00"	750	1979-1994
97	Barra do Monjolo	Paraúna	17°44'00"	50°12'00"	721	1978-1995
98	Morrinhos	Morrinhos	17°46'00"	49°08'00"	753	1977-1994
99	Joviânia	Joviânia	17°48'00"	49°30'00"	500	1977-1995
100	Benjamim de Barros	Jataí	17°52'00"	51°42'00"	700	1977-1994
101	Ponte Rio Claro	Jataí	17°55'00"	51°45'00"	596	1977-1991
102	Estação Veríssimo	Veríssimo	17°58'00"	48°11'00"	605	1977-1992
103	Marzagão	Marzagão	17°59'00"	48°39'00"	604	1978-1995
104	Maurilândia	Maurilândia	18°02'00"	50°20'00"	500	1978-1995
105	Fazenda São Domingos	Catalão	18°05'00"	47°40'00"	835	1977-1995
106	Corumbaíba	Corumbaíba	18°09'00"	48°34'00"	633	1949-1965
107	Catalão	Catalão	18°11'00"	47°57'00"	840	1966-1986
108	Pombal	Jataí	18°13'00"	51°24'00"	696	1978-1994
109	Corumbazul	Corumbazul	18°15'00"	48°50'00"	633	1973-1995

Continua...

Tabela 1, Cont.

Nº	NOME DA ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	LAT. (S)	LONG. (W)	ALT. (m)	SÉRIE (ANOS)
110	Ponte Meia Ponte	Itumbiara	18°20'00"	49°35'00"	448	1978-1995
111	Três Ranchos	Três Ranchos	18°25'00"	47°48'00"	687	1977-1995
112	Itumbiara	Itumbiara	18°25'00"	49°12'00"	578	1945-1971
113	Três Ranchos	Três Ranchos	18°25'00"	47°48'00"	687	1977-1995
114	Quirinópolis	Quirinópolis	18°34'00"	50°34'00"	443	1976-1994
115	Campo Alegre	Campo Alegre	18°35'00"	51°49'00"	670	1977-1994
116	Aporé	Aporé	18°59'00"	52°00'00"	538	1974-1994
117	Canastra	Itajá	19°02'00"	51°08'00"	442	1975-1994
118	Itajá	Itajá	19°07'00"	51°38'00"	666	1978-1992

A Figura 6 mostra a distribuição espacial das estações pluviométricas utilizadas nesse trabalho.

2.2.2. capacidade de armazenamento de água no solo (AD)

O solo pode ser considerado um reservatório que armazena e fornece água e nutrientes para as plantas. Por adsorção e capilaridade, o solo retém a umidade que posteriormente será absorvida pelas plantas. Dependendo da quantidade de umidade que o solo armazena, as plantas terão maior ou menor possibilidade de retirar água para seu metabolismo. Conforme a diminuição da quantidade de umidade no solo, a força de retenção aumenta e, conseqüentemente, as plantas terão maior dificuldade em extrair água. Assim, nem toda água que o solo armazena está disponível às plantas.

A capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) são considerados os limites máximo e mínimo de água disponível, respectivamente. A capacidade de campo representa a quantidade máxima de água que o solo consegue reter, após percolação do excesso por gravidade. O ponto de murcha permanente corresponde à quantidade de água no solo com a qual as plantas não conseguem sobreviver.

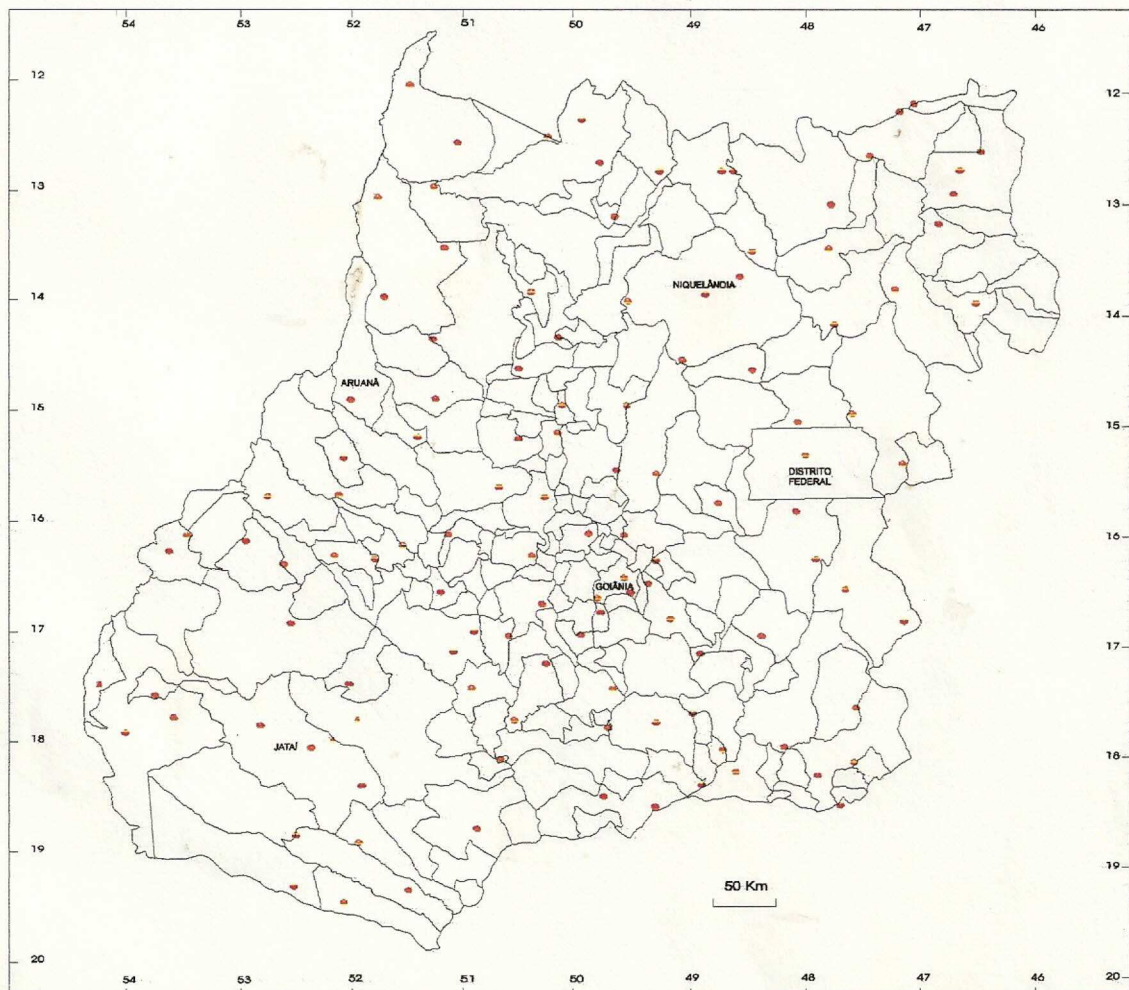


Figura 6 - Distribuição espacial das estações pluviométricas.

A partir destes limites, é possível determinar a capacidade de armazenamento de água disponível no solo, ou seja:

$$AD = \frac{(CC - PMP)}{10} \times Pe \times Da$$

em que

AD = capacidade de armazenamento de água disponível no solo (mm);

CC = capacidade de campo (% peso);

PMP = ponto de murcha permanente (% peso);

Pe = profundidade do sistema radicular (cm); e

Da = densidade aparente do solo (g/cm³).

A água ocupa os espaços porosos do solo quando retida sob tensão, fator este dependente da proporção dos componentes granulométricos e seus arranjos (SARVASI et al., 1992).

As características de retenção de água do solo variam principalmente em função da textura, do conteúdo de matéria orgânica e do estado de agregação das partículas. Assim, o estado energético é expresso como sendo o potencial da água no solo resultante do potencial matricial, definido pela adsorção e capilaridade na matriz do solo, e do potencial gravitacional conseqüente à ação do campo gravitacional da Terra.

O potencial gravimétrico evidencia-se, geralmente, quando a água está livre no solo, provocando sua descida por percolação. Por outro lado, à medida que o solo vai perdendo umidade o potencial matricial acentua tornando-se mais negativo e indicando que a água está sendo retida com maior energia pela matriz do solo.

A diminuição da umidade no solo reduz o suprimento de água às plantas, pois exige maior energia no processo de absorção e reduz a condutividade hidráulica do solo, conseqüentemente reduzindo o fluxo de água no interior da planta e do solo para a raiz. Em geral, esta condição induz ao estresse hídrico na planta (BERGAMASCHI, 1990).

Segundo AZEVEDO et al. (1983), a capacidade de armazenamento de água no solo varia principalmente com sua textura. Em Goiás, Latossolo Vermelho-Escuro (LE), Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), Areia Quartzosa (AQ) e Areia Quartzosa Hidromórfica (AQH) têm em média as capacidades de armazenamento de água no solo de 70mm/m; 68mm/m; 50mm/m; 52mm/m, respectivamente. Como para os Latossolos os valores são muito semelhantes não influenciando na reserva útil de água no solo para as plantas, no cálculo do balanço hídrico considerou-se a capacidade de armazenamento de água no solo de 68mm/m. Analogamente, para as Areias Quartzosas, foi utilizado o valor 50mm/m.

As areia quartzosas ocupam uma área em torno de 17.239 km², cerca de 5% da área total do Estado de Goiás, e os Latossolos 138.311 km², que correspondem a aproximadamente de 35% desta área.

2.2.3. Coeficiente de cultura (Kc)

O coeficiente de cultura (Kc) é um fator indicativo de consumo de água ideal para a planta durante todo seu ciclo produtivo, constituindo elemento imprescindível para elaboração racional de projetos e manejo da irrigação. ENCARNAÇÃO (1987) comenta que a necessidade de água de cada cultura, em suas diferentes fases de desenvolvimento, é calculada por meio de coeficientes de cultura, obtidos experimentalmente, que permitem ajustar diferentes épocas de plantio para culturas de sequeiro, bem como planejar o manejo de água em culturas irrigadas.

Os valores de Kc são semelhantes para uma mesma cultura. Entretanto, de acordo com STONE e SILVEIRA (1995) podem ocorrer variações entre os valores dos coeficientes de cultura estabelecidos para determinada cultura. Isto ocorre devido, principalmente, à cultivar e às práticas culturais utilizadas (adubação e densidade de semeadura). STONE e PEREIRA (1994), trabalhando com arroz de sequeiro sob irrigação suplementar por aspersão, verificaram que os valores de Kc foram alterados significativamente devido ao aumento na adubação e redução no espaçamento tradicional, passando de 50 cm para 20 cm entre linhas.

Neste estudo foram utilizados os dados de coeficiente de cultura decendiais, para o arroz de sequeiro, obtidos por KALMS (1980) e STEINMETZ et al. (1985), apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores decendiais do coeficiente de cultura para o arroz de sequeiro

DECÊNIO										
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11
0.60	0.70	0.91	1.06	1.15	1.00	1.20	1.19	1.15	1.01	0.85

2.2.4. Evapotranspiração potencial (ETp)

O conhecimento sobre a evapotranspiração potencial (ETp) é básico para a estimativa da evapotranspiração da cultura. Para a estimativa de ETp existem vários métodos, cuja escolha é função principalmente da quantidade de informações meteorológicas disponíveis.

A evapotranspiração processa-se por evaporação da água das superfícies e transpiração das plantas. A evaporação e a transpiração são processos fisicamente semelhantes. A evaporação é um processo difusivo, parte turbulento e parte molecular. O processo turbulento é o mecanismo dominante, exceto na fina camada próxima à superfície evaporativa. Na transpiração, inclui-se a resistência difusiva que resulta da geometria interna das folhas, como os estômatos e a resistência difusiva de vapores através das cutículas.

REICHARDT (1985) e SEDIYAMA (1987) citam que apenas o lisímetro estima a evapotranspiração com precisão aceitável. Entretanto, é necessário estabelecer a semelhança das condições de plantio no interior e na área externa do lisímetro.

HARGREAVES (1974) desenvolveu uma fórmula para estimativa da evapotranspiração potencial, enfatizando a simplicidade e o uso do mínimo de variáveis meteorológicas. A equação requer apenas informações meteorológicas de temperatura média e umidade relativa do ar. Testada em vários países, esta equação apresentou ajuste satisfatório, inclusive na região Nordeste do Brasil (HARGREAVES, 1976) e em Goiânia-GO (STONE e SILVEIRA, 1995).

Neste trabalho, a evapotranspiração potencial (ETp) foi estimada pela equação de HARGREAVES (1974), definida como

$$ETp = MF \times (1,8 \times T + 32) \times CH$$

em que

MF = fator mensal dependente da latitude;

T = temperatura do ar (°C); e

CH = correção da umidade relativa, expressa pela seguinte equação:

$$CH = 0,158 \times (100 - UR)^{1/2}$$

em que

UR = umidade relativa do ar (%).

Como é grande a carência de dados meteorológicos para cálculo da evapotranspiração potencial no Estado de Goiás, foi realizada apenas a estimativa de ETp para 21 localidades (Tabela 3) e, através da espacialização dos valores, as informações foram generalizadas para as outras áreas do Estado de Goiás.

Os valores da evapotranspiração potencial foram calculadas para períodos de dez dias em todas as localidades utilizadas, para isso, o ano foi dividido em 36 decêndios conforme (Tabela 4).

2.2.5. Cultivar de arroz de sequeiro estudada

Para simulação do modelo adotado neste trabalho, foi analisado o cultivar de ciclo curto (110 dias). O ciclo da planta foi dividido em quatro fases

Tabela 3 - Estações utilizadas para o cálculo da evapotranspiração potencial, coordenadas geográficas e série dos anos estudados

Nº	NOME DA ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	UF	LAT. (S)	LONG. (W)	ALT. (m)	SÉRIE (ANOS)
01	Peixe	Peixe	TO	12°01'30"	48°32'21"	240	4
02	Barreiras	Barreiras	BA	12°09'10"	44°59'24"	452	5
03	Taguatinga	Taguatinga	TO	12°24'14"	46°26'10"	599	6
04	Paraná	Paraná	GO	12°36'55"	47°52'59"	274	5
05	Monte Alegre de Goiás	Monte Alegre de Goiás	GO	13°05'24"	46°53'12"	557	8
06	Cavalcante	Cavalcante	GO	13°47'28"	47°27'30"	823	8
07	Posse	Posse	GO	14°05'35"	46°22'10"	811	6
08	Britânia	Britânia	GO	15°14'00"	51°10'00"	263	8
09	Formosa	Formosa	GO	15°32'14"	47°20'04"	916	6
10	CPAC-EMBRAPA	Planaltina	DF	13°31'42"	48°09'30"	1000	5
11	Brasília	Brasília	DF	15°46'47"	47°55'47"	1171	5
12	Cabeceiras	Cabeceiras	GO	14°47'00"	46°59'00"	926	9
13	Aragarças	Aragarças	GO	15°53'51"	52°15'03"	310	5
14	Goiás	Goiás	GO	15°56'00"	50°08'00"	496	5
15	Goiânia	Goiânia	GO	16°40'00"	49°16'00"	749	10
16	Cristalina	Cristalina	GO	16°45'00"	47°37'00"	1189	6
17	Paracatu	Paracatu	MG	17°13'20"	46°52'29"	687	6
18	Rio Verde	Rio Verde	GO	17°47'53"	50°55'41"	715	6
19	Catalão	Catalão	GO	18°10'12"	47°56'31"	835	5
20	Patos de Minas	Patos de Minas	MG	18°34'44"	46°31'05"	832	5
21	Aporé	Aporé	GO	18°35'00"	51°49'00"	538	8

Tabela 4 - Divisão do ano por decêndio

DECÊNDIOS	PERÍODOS
D1	01 a 10 de janeiro
D2	11 a 20 de janeiro
D3	21 a 30 de janeiro
D4	31 de janeiro a 09 de fevereiro
D5	10 a 19 de fevereiro
D6	20 de fevereiro a 01 de março
D7	02 a 11 de março
D8	12 a 21 de março
D9	22 a 31 de março
D10	01 a 10 de abril
D11	11 a 20 de abril
D12	21 a 30 de abril
D13	01 a 10 de maio
D14	11 a 20 de maio
D15	21 a 30 de maio
D16	31 de maio a 09 de junho
D17	10 a 19 de junho
D18	20 a 29 de junho
D19	30 de junho a 09 de julho
D20	10 a 19 de julho
D21	20 a 29 de julho
D22	30 de julho a 08 de agosto
D23	09 a 18 de agosto
D24	19 a 28 de agosto
D25	29 de agosto a 07 de setembro
D26	08 a 17 de setembro
D27	18 a 27 de setembro
D28	28 de setembro a 07 de outubro
D29	08 a 17 de outubro
D30	18 a 27 de outubro
D31	28 de outubro a 06 de novembro
D32	07 a 16 de novembro
D33	17 a 26 de novembro
D34	27 de novembro a 06 de dezembro
D35	07 a 16 de dezembro
D36	17 a 26 de dezembro

fenológicas, isto é, germinação-emergência, vegetativa, floração-enchimento dos grãos e maturação. Considerou-se um período crítico (floração-enchimento dos grãos) para o arroz de sequeiro de 35 dias . Esse período abrange do 65º dia ao 100º dia após a emergência. Foi considerado o desenvolvimento radicular de $1,1\text{cm.dia}^{-1}$ e crescimento máximo até 90 dias (DOORENBOS et al., 1994).

2.3. Rotina de cálculo do modelo

Os balanços hídricos contemplaram o período de 01/10 a 30/01 de cada ano, para cada uma das estações pluviométricas. Considerou-se as seguintes datas como referência: 01/11; 05/11; 15/11; 25/11; 30/11; 05/12; 15/12; 25/12; 30/12; 05/01; 15/01; 25/01 e 30/01. Estas datas são as que apresentam melhor a variabilidade pluviométrica em Goiás.

Tratando-se de um modelo de simulação de balanço hídrico diário, a cada simulação o modelo calcula a evapotranspiração da cultura, EPC (mm.dia^{-1}), a evapotranspiração real, ETr (mm.dia^{-1}), a profundidade da frente de umidade no solo, Zum (cm), o estoque de água disponível na zona de solo que pode ser potencialmente explorada pelas raízes, W (mm), o estoque que efetivamente é explorado pelo sistema radicular, Srad (mm) e o estoque na camada superficial do solo, Ssup (mm) além da água percolada sob a zona radicular, PZR (mm). A evaporação da água do solo, Es (mm.dia^{-1}) é determinada pela fórmula proposta por VAKSMANN (1990), que considera o efeito " self mulching" da camada superior do solo expressa como

$$ES = m \times ETP \times S \text{ sup} / (AD \times Z \text{ sup})$$

em que

ES = evaporação da água do solo (mm/dia);

m = parâmetro de calibração;

ETP = evapotranspiração potencial (mm/dia);

Ssup = estoque hídrico na camada superficial do solo (mm);

AD = capacidade de armazenamento de água disponível no solo (mm); e

Z_{sup} = espessura da camada de solo superficial considerada no processo de "self mulching" (mm).

A evapotranspiração real (ETr) foi estimada por meio de uma equação de terceiro grau, proposta por Eagleman (1971), que descreve a evolução da evapotranspiração real (ETr) em função da evapotranspiração máxima (ETm) e umidade do solo (HR), expressa como

$$ETr = A + B \times HR - C \times HR^2 + D \times HR^3$$

em que

$$A = 0,732 - 0,05 \times ETm;$$

$$B = 4,97 \times ETm - 0,66 \times ETm^2;$$

$$C = 8,57 \times ETm - 1,56 \times ETm^2;$$

$$D = 4,35 \times ETm - 0,88 \times ETm^2;$$

A evapotranspiração máxima foi estimada pela equação

$$ETm = ETp \times Kc$$

em que

ETp = evapotranspiração potencial (mm/dia); e

Kc = coeficiente da cultura.

O modelo inicialmente calcula W (estoque atual de água disponível na zona de solo que pode ser potencialmente explorada pelas raízes) para o dia d em relação ao cálculo da variação para o dia $d + 1$, ou seja,

$$W(d) = W(d-1) + Li(d)$$

em que

$Li(d)$ = Infiltração da chuva do dia.

Então, Z_{um} (profundidade da frente de umidade do solo) é calculado por

$$Z_{um}(d) = Z_{um}(d-1), \text{ se } W/AD < Z_{um}(d); \text{ e}$$

$$Z_{um}(d) = W / AD, \text{ se } W/AD \geq Z_{um}(d).$$

A percolação calculada sob a zona radicular é

$$PZR(d) = 0, \text{ se } Z_{um}(d+1) \leq P_{max}; \text{ e}$$

$$PZR(d) = (W - AD \times P_{max}), \text{ se } Z_{um}(d+1) > P_{max}.$$

em que

P_{max} = Profundidade máxima do sistema radicular.

O balanço dos estoques de água no solo é avaliado por

$$W' = W - PZR(d+1);$$

$$S_{sup} = \text{Min}[S_{sup}(d) + Li(d), AD \times Z_{sup}]; \text{ e}$$

$$S_{rad} = \text{Min}[S_{rad}(d) + Li(d), AD \times Z_{rad}(d)].$$

A evapotranspiração real (ET_r) é calculada e, posteriormente, efetua-se o balanço em cada um dos reservatórios, ou seja,

$$S_{sup}(d+1) = S_{sup} - ET_r, \text{ se } S_{sup} > ET_r;$$

$$S_{sup}(d+1) = 0, \text{ se } S_{sup} \leq ET_r;$$

$$S_{rad}(d+1) = S_{rad} - ET_r, \text{ se } S_{rad} > ET_r; \text{ e}$$

$$S_{rad}(d+1) = 0, \text{ se } S_{rad} \leq ET_r.$$

O cálculo para o dia seguinte será

$$W(d+1) = W' - ET_r$$

2.4. Produto do modelo

Um dos produtos mais importantes do modelo é a relação ET_r/ET_m, tomada como parâmetro básico de definição neste trabalho.

Sabe-se que esta relação indica a disponibilidade ou não de água para a cultura, como por exemplo ET_r=ET_m, há adequabilidade de água para a planta (DOORENBOS et al., 1994). Portanto, esta relação avalia o estresse hídrico da cultura em cada fase fenológica, definindo o grau de resistência da cultura ao estresse hídrico sofrido ao longo do ciclo.

Os valores médios de ETr/ETm da fase de florescimento-enchimento dos grãos foram calculados para cada estação meteorológica listada na Tabela 1, e ano estudado.

Normalmente numa coleta de dados, principalmente aqueles referentes a longas séries históricas, é possível aparecer valores que repetem-se muitas vezes.

A quantidade de vezes que um valor aparece é denominada de frequência. No caso da precipitação pluvial, os valores não foram exatamente iguais, porém estarão inseridos em um intervalo de classe. Utilizando as medidas estatísticas de posição (média, moda ou mediana) e as de dispersão (amplitude, desvio médio, quantil, decil, centil e desvio padrão), é possível interpretar mais facilmente a análise freqüencial. Durante todo este estudo, foram utilizados os conceitos de medida de posição referentes à mediana, e os de dispersão referentes ao 8° decil. No 8° decil, entende-se que 80% dos valores estão abaixo do valor calculado e 20% acima do valor calculado.

Para caracterizar o risco climático ao cultivo do arroz de sequeiro no Estado de Goiás foram estabelecidas três classes de ETr/ETm, conforme STEINMETZ et al. (1985):

- a) ETr/ETm maior ou igual a 0,65 - a cultura do arroz de sequeiro está exposta a baixo risco climático.
- b) ETr/ETm menor que 0,65 e maior ou igual a 0,55 - a cultura do arroz de sequeiro está exposta a risco climático médio.
- c) ETr/ETm menor que 0,55 - a cultura de arroz de sequeiro está exposta a alto risco climático.

O risco climático foi estimado pelo índice ETr/ETm (evapotranspiração real/evapotranspiração máxima). Esta relação expressa a quantidade de água que a planta consumiu (ETr) e aquela desejável para garantir plenamente a máxima produtividade (ETm). Portanto, a ETr está relacionada à quantidade de água no solo enquanto a ETm relaciona-se à capacidade máxima de água que a cultura necessita.

2.5. Digitalização do mapa de solos

Neste estudo foi necessário digitalizar o mapa de solos do Estado de Goiás que apresenta as classes de solo predominantes, ou seja, Latossolo vermelho Escuro (LE), Latossolo Roxo (LR), Latossolo vermelho Amarelo (LV), Terra Roxa Estruturada (TR), Podzólico Vermelho Escuro (PVE), Podzólico Vermelho Amarelo (PE), Podzólico Vermelho Amarelo Distrófico (PV), Podzólico Vermelho Amarelo Latossólico (PVL), Brunizem Avermelhada (BV), Solos Petroplínticos (SP), Cambissolos (C), Areia Quartzosa (AQ), Solos Litólicos (R), Plintossolos (PT), Gleissolos (G) e Areia Quartzosa Hidromórfica (AQH) (Figura 7).

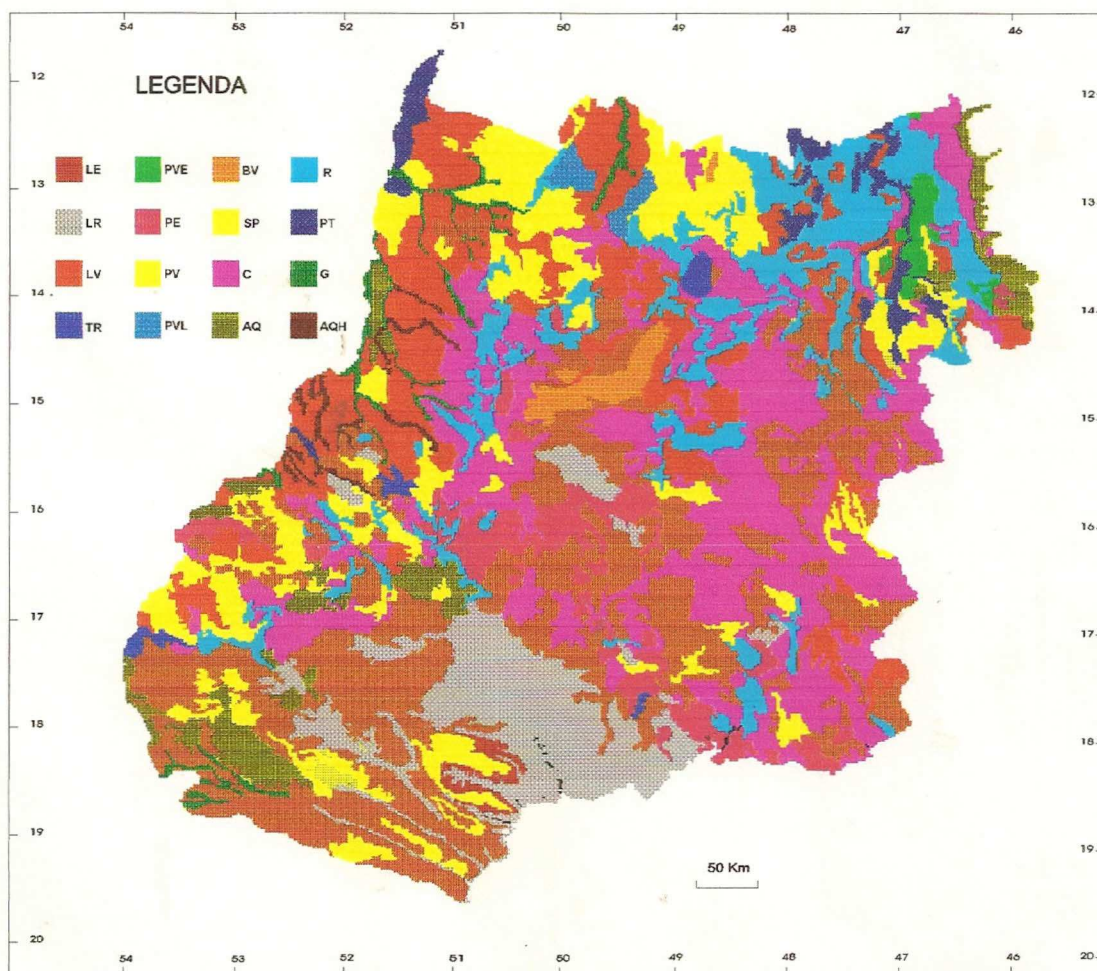
A digitalização é um processo de conversão de pontos e linhas de um mapa convencional em formato compatível ao uso em computador. Nesta etapa, foi utilizada a técnica de digitalização manual usando uma mesa digitalizadora. Essa mesa constitui o equipamento básico da digitalização manual, sendo composta por três partes principais: uma superfície plana, sobre a qual fixa-se o mapa, um dispositivo que mede coordenadas e um cursor que indica cada posição da mesa em relação ao sistema de medição adotado.

A digitalização foi realizada no modo ponto a ponto, no qual as coordenadas são lidas pela mesa e enviadas ao computador cada vez que um dos botões do cursor é pressionado.

O processo de digitalização exige a consideração dos seguintes itens: a) identificação das características cartográficas do mapa como escala, sistema de projeção e sistema geodésico, b) anotações de informações complementares no mapa a ser digitalizado, como o código das entidades gráficas, c) identificação de pelo menos três pontos no mapa com coordenadas conhecidas, para a orientação da mesa digitalizadora.

2.6. Espacialização do risco Climático (ETr/ETm)

Os valores estimados que definem o risco climático foram espacializados utilizando-se um Sistema de Informações Geográficas (SIG),



Fonte:(IBGE).

Figura 7 - Caracterização das classes de solos que constituem as áreas do Estado de Goiás.

desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Os procedimentos são os seguintes: digitalização de um arquivo de pontos (em formato ASCII), organizados em três colunas com latitude, longitude e valores da relação ETr/ETm, com 80% de frequência de ocorrência; transformação das coordenadas geográficas em coordenadas da projeção cartográfica utilizada (no caso, projeção policônica); leitura do arquivo de pontos; organização das amostras e geração de uma grade regular (grade retangular com pontos regularmente espaçados na qual o valor da cota de cada ponto é estimado a partir da interpolação de certo número de vizinhos mais próximos).

Segundo FELGUEIRAS (1987), para caracterização total de uma superfície é necessário um processo de interpolação dos dados existentes, pois são raros os casos em que há disponibilidade de todos os dados de uma superfície a ser estudada.

Silva (1990), citado por CAMPOS (1994), concluiu que o problema de interpolação é muito abrangente, pois ainda não existe um método que possa ser aplicado com todo sucesso sem levar em consideração o tipo de dado levantado, as propriedades do fenômeno estudado e a dimensão espacial.

Para este estudo, por tratar-se basicamente de uma análise bidimensional, na qual as variações de ETr/ETm foram espacializadas em função do tempo, o interpolador escolhido foi aquele que mais aproximou-se de um resultado linear. Assim, foi selecionado o interpolador que considera a média dos "N" pontos mais próximos por quadrante da grade regular.

O interpolador número "1" do SGI, em comparação com os outros seis, é o que mais se aproxima das condições de linearidade impostas. Segundo FELGUEIRAS (1987), o interpolador 1 utiliza a média dos N pontos vizinhos mais próximos com peso W_i , onde $W_i = 1/d^n$, $i=1,2,3,\dots,n$ em que

d = distância euclidiana do i -ésimo amostrado i ao ponto interpolado; e

n - expoente da função distância.

No SGI utilizado, o número de pontos mais próximos d pode variar de 1 a 16, enquanto o expoente da função distância n pode variar de 1 a 8. Neste estudo selecionou-se $d=4$ e $n=3$ para o interpolador 1, pois foram as opções

que apresentaram o menor erro médio, dentre as combinações possíveis (ASSAD, 1993).

Feitas as interpolações, na etapa seguinte foi utilizado o módulo de conversão que compreende as seguintes transformações de formatos: conversão vetor-varredura (geração de uma imagem a partir de dados vetoriais); conversão varredura-vetor (geração de dados poligonais a partir de uma imagem temática); refinamento da grade regular (transformação de uma grade regular em arquivo de imagens, com maior densidade de pontos); geração de isolinhas (obtenção de mapas de isovalores a partir de grades regulares refinadas) e conversão de projeções cartográficas.

Convertidos os dados e feitas as transformações necessárias, a imagem foi reclassificada. Verificados os erros e ajustados os valores das interpolações, confeccionou-se dois grupos de mapas, ou seja, um com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica e o outro com Latossolo Vermelho Escuro e Latossolo Vermelho Amarelo, definindo as regiões de baixo, médio e alto risco climático, no cultivo do arroz de sequeiro, para o Estado de Goiás em várias datas.

Para gerar esses dois grupos de mapas, primeiramente considerou-se toda a área do Estado de Goiás classificada como Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica. Em seguida, utilizando uma função do SGI/INPE, efetuou-se um cruzamento desses mapas com o mapa de solos do Estado de Goiás. Nesse cruzamento, é dado um comando para que o mapa resultante apresente apenas as áreas constituídas de Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica. Do mesmo modo, procedeu-se com o grupo de mapas gerados, considerando toda a área do Estado de Goiás constituída de Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Validação do modelo utilizado

Na Figura 8 é apresentada a dispersão dos valores entre o estoque hídrico medido e o estoque hídrico simulado do modelo utilizado. O resultado da regressão mostra uma boa aproximação entre os dois parâmetros, apresentando um coeficiente de determinação (r^2) de 0,84, considerado satisfatório devido principalmente ao número de informações utilizadas na regressão linear. Conforme os resultados da análise estatística, a equação de regressão, explica 84% da variação de significância e o grau de confiança é maior que 99%. Assim, como a quantidade de água no solo estimada pelo modelo é aceitável, a estimativa da evapotranspiração real também será confiável, pois a umidade de água no solo é um fator importante para a cálculo da evapotranspiração.

3.2. Evapotranspiração potencial

Os parâmetros meteorológicos, a temperatura e a umidade relativa do ar são importantes para o cálculo da evapotranspiração potencial por meio da equação de Hargreaves. As informações temperatura e umidade relativa do ar utilizadas neste trabalho foram cedidas pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais).

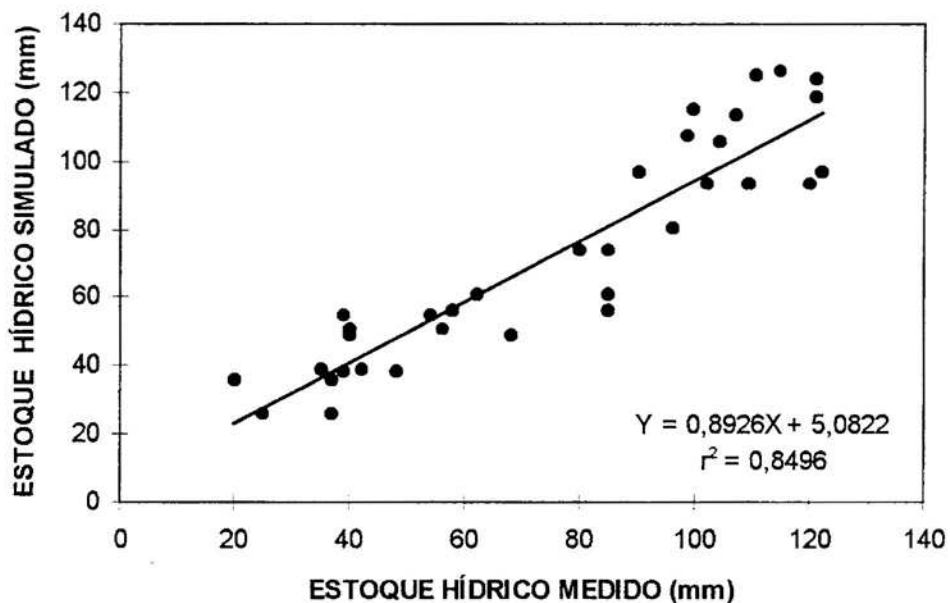


Figura 8 - Dispersão dos valores do estoque hídrico medido e simulado e a equação de regressão linear

Na Tabela 5, observa-se que os meses de agosto e setembro apresentam maior índice de perda de água para a atmosfera, coincidindo com a estação mais quente no Estado de Goiás.

As localidades de Goiás e Monte Alegre de Goiás, seguidas pelo município de Goiânia, são as que apresentaram maior índice de evapotranspiração potencial, ou seja, 6.9 mm/dia; 6.5 mm/dia e 4.9 mm/dia nos meses de setembro, agosto e outubro, respectivamente.

A região de Catalão apresentou o menor índice de evapotranspiração potencial, nos últimos dez dias do mês de março, ou seja, 3.1 mm/dia.

3.3. Espacialização do risco climático em áreas constituídas de Areia Quartzosa (AQ) e Areia Quartzosa Hidromórfica (AQH)

As Figuras 9 a 21 apresentam as situações na espacialização do risco climático para o arroz de sequeiro, considerando-se as classes de solo Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica com capacidade de armazenamento de água no solo de 50 mm/m.

Tabela 5 - Valores decendiais de evapotranspiração potencial durante os 36 decêndios do ano para as localidades estudadas

ESTAÇÃO	DECÊNDIO																	
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18
PEIXE	37	37	38	37	35	35	35	38	38	35	41	37	37	40	40	41	41	42
BARREIRAS	40	39	37	37	39	39	38	39	39	37	36	37	37	38	38	36	37	42
TAGUATINGA	39	39	38	36	38	41	40	39	41	39	41	42	43	46	47	48	50	48
PARANÁ	42	38	38	39	39	36	37	39	40	41	40	39	40	38	37	37	38	38
MTº ALEGRE DE GOIÁS	37	39	42	42	45	38	45	49	47	37	49	39	45	44	42	41	44	46
CAVALCANTE	42	38	38	39	39	36	37	39	40	41	40	39	40	38	37	37	38	38
POSSE	37	39	42	42	45	38	45	49	47	37	49	39	45	44	42	41	44	46
BRITÂNIA	39	41	37	37	38	39	38	40	37	39	38	41	40	39	38	39	38	39
FORMOSA	34	41	41	38	38	40	39	38	38	40	36	35	37	39	40	42	42	40
CPAC-EMBRAPA	38	37	36	40	42	44	42	40	39	40	40	41	41	42	40	39	41	40
BRASÍLIA	42	45	40	39	40	39	40	39	35	39	37	42	41	41	39	45	46	45
CABECEIRAS	34	41	41	38	38	40	39	38	38	40	36	35	37	39	40	42	42	40
ARAGARÇAS	39	41	37	37	38	39	38	40	37	39	38	41	40	39	38	39	38	39
GOIÁS	43	43	40	39	38	40	40	39	37	41	40	45	44	44	44	46	48	47
GOIÂNIA	45	47	43	42	44	43	42	42	40	43	42	47	45	43	43	47	48	47
CRISTALINA	38	37	37	40	42	44	42	40	39	40	40	41	41	42	39	39	41	40
PARACATU	38	45	43	39	42	41	43	42	39	39	39	37	35	35	33	33	34	34
RIO VERDE	39	41	43	42	45	40	44	48	45	38	47	38	43	42	40	40	43	45
CATALÃO	42	46	42	40	43	42	42	33	31	41	40	44	41	41	39	42	44	42
PATOS DE MINAS	41	45	41	40	42	41	41	39	37	40	38	41	39	40	39	42	43	43
APORÉ	39	41	43	43	45	40	44	48	45	38	46	38	43	41	40	40	43	45

Continua...

Tabela 5, Cont.

ESTAÇÃO	DECÊNIO																	
	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30	D31	D32	D33	D34	D35	D36
PEIXE	42	45	47	49	54	55	59	55	52	49	42	41	41	40	41	37	38	35
BARREIRAS	42	44	46	50	54	58	63	65	63	56	57	57	46	43	42	42	40	39
TAGUATINGA	52	53	53	56	61	64	70	67	64	55	52	53	45	41	43	43	41	38
PARANÁ	38	40	42	43	45	50	52	53	54	52	49	46	44	40	37	38	40	38
MTº ALEGRE DE GOIÁS	45	52	49	55	65	62	64	60	53	49	46	47	45	40	40	40	40	39
CAVALCANTE	39	40	42	43	45	50	52	53	54	52	49	46	44	40	37	38	40	38
POSSE	45	52	49	55	62	62	64	60	53	49	46	47	45	40	40	40	40	39
BRITÂNIA	40	43	46	49	53	58	57	55	55	48	46	45	41	40	38	38	38	36
FORMOSA	40	44	44	48	51	55	61	61	53	52	46	43	41	37	37	40	39	36
CPAC-EMBRAPA	41	43	45	45	50	51	49	50	50	49	47	46	43	43	44	42	41	41
BRASÍLIA	42	45	50	57	57	63	60	59	56	49	38	41	39	38	37	40	38	36
CABECEIRAS	40	44	44	48	51	55	61	61	53	52	46	43	41	37	37	40	39	36
ARAGARÇAS	40	43	46	49	53	58	57	55	55	48	46	45	41	40	38	38	39	36
GOIÁS	48	51	55	60	60	68	68	69	63	53	49	46	41	42	39	39	40	38
GOIÂNIA	48	51	54	57	59	66	64	66	61	51	49	49	44	44	40	44	42	40
CRISTALINA	41	43	45	45	50	51	49	50	50	49	47	46	43	43	44	42	41	41
PARACATU	34	37	38	43	44	47	47	49	48	47	41	43	42	40	38	38	39	38
RIO VERDE	44	46	45	55	62	60	57	58	52	48	46	46	43	40	40	41	41	39
CATALÃO	39	42	45	52	52	57	55	57	53	47	44	45	44	42	40	42	41	38
PATOS DE MINAS	39	42	44	51	50	57	55	54	53	46	41	43	42	39	37	42	39	36
APORÉ	44	46	45	55	62	60	57	58	52	48	46	46	43	40	40	41	41	39

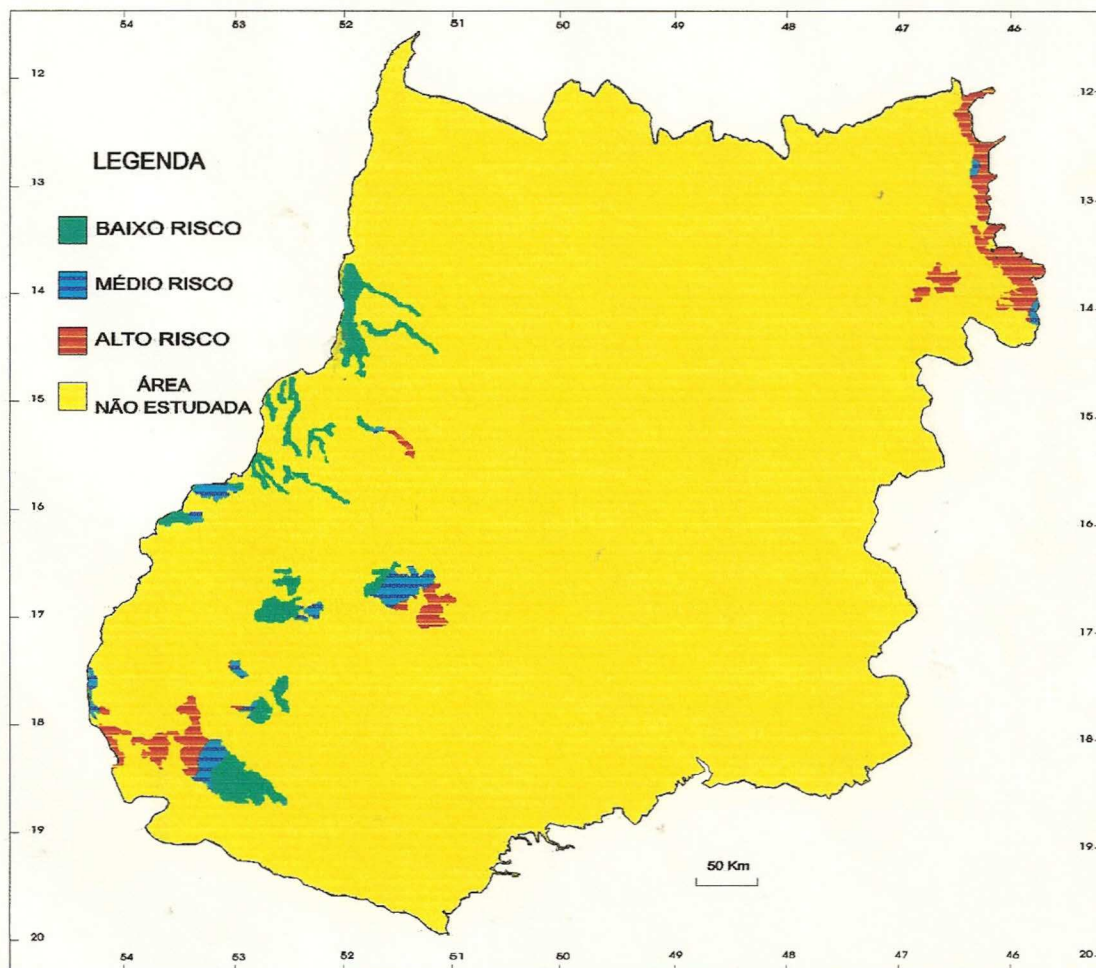


Figura 9 - Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 01/11.

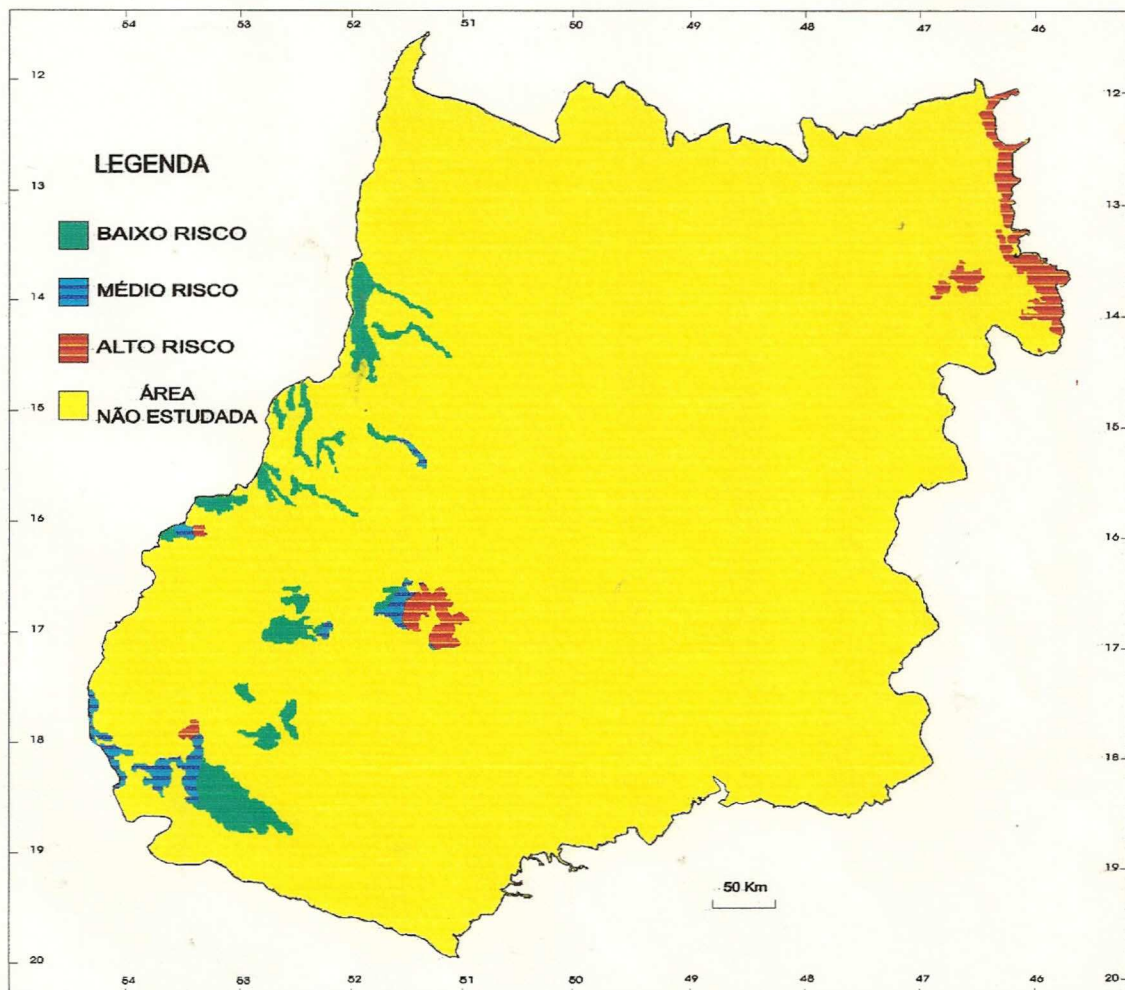


Figura 10 - Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 05/11.

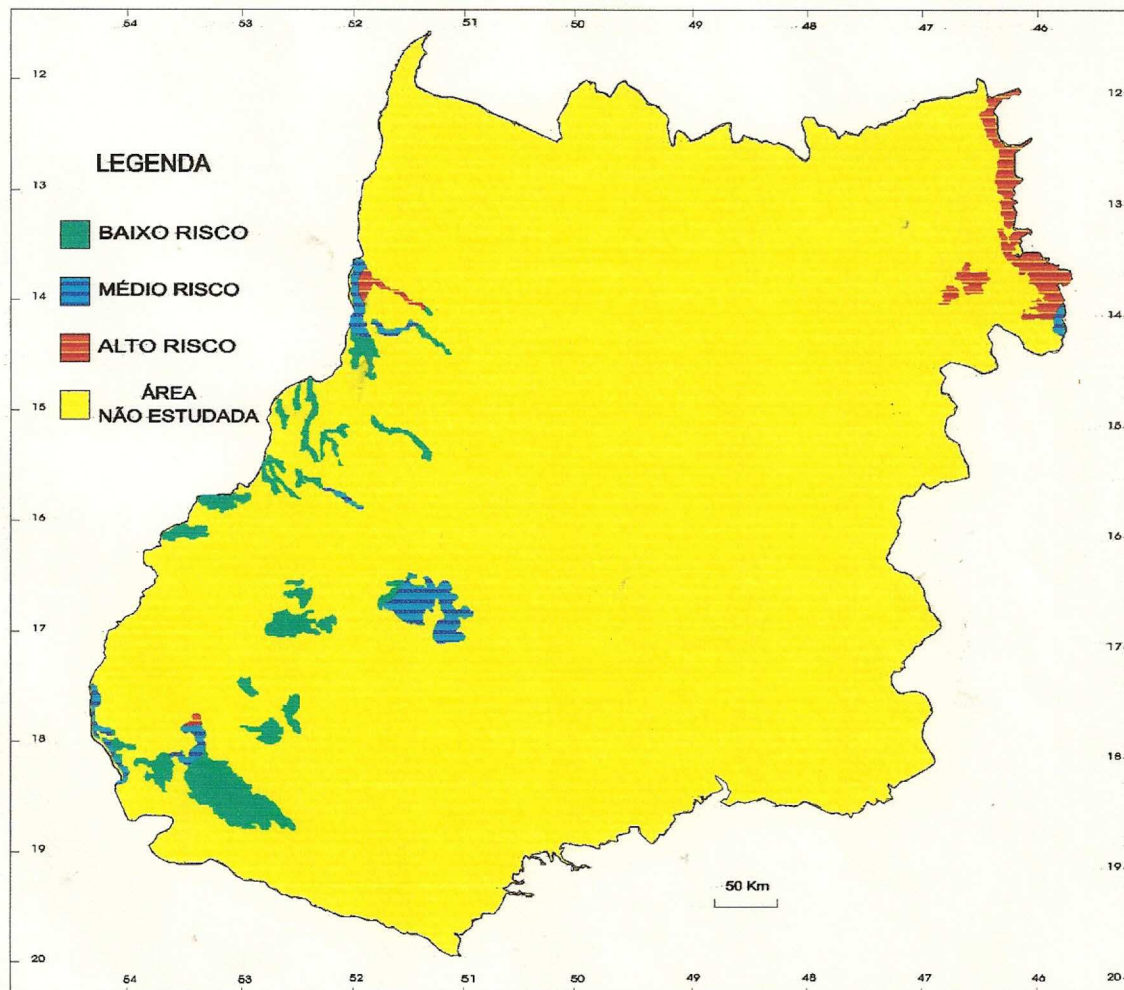


Figura 11 - Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 15/11.

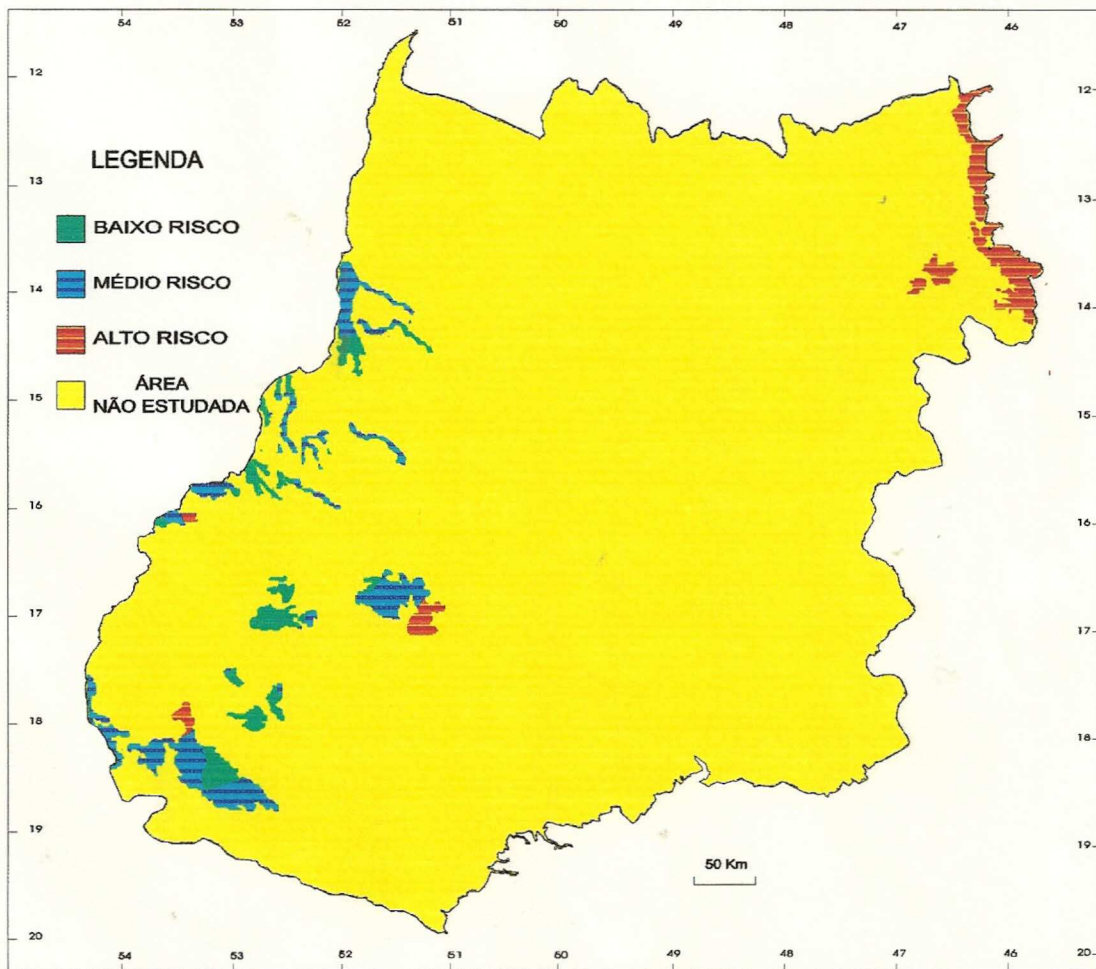


Figura 12 - Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 25/11.

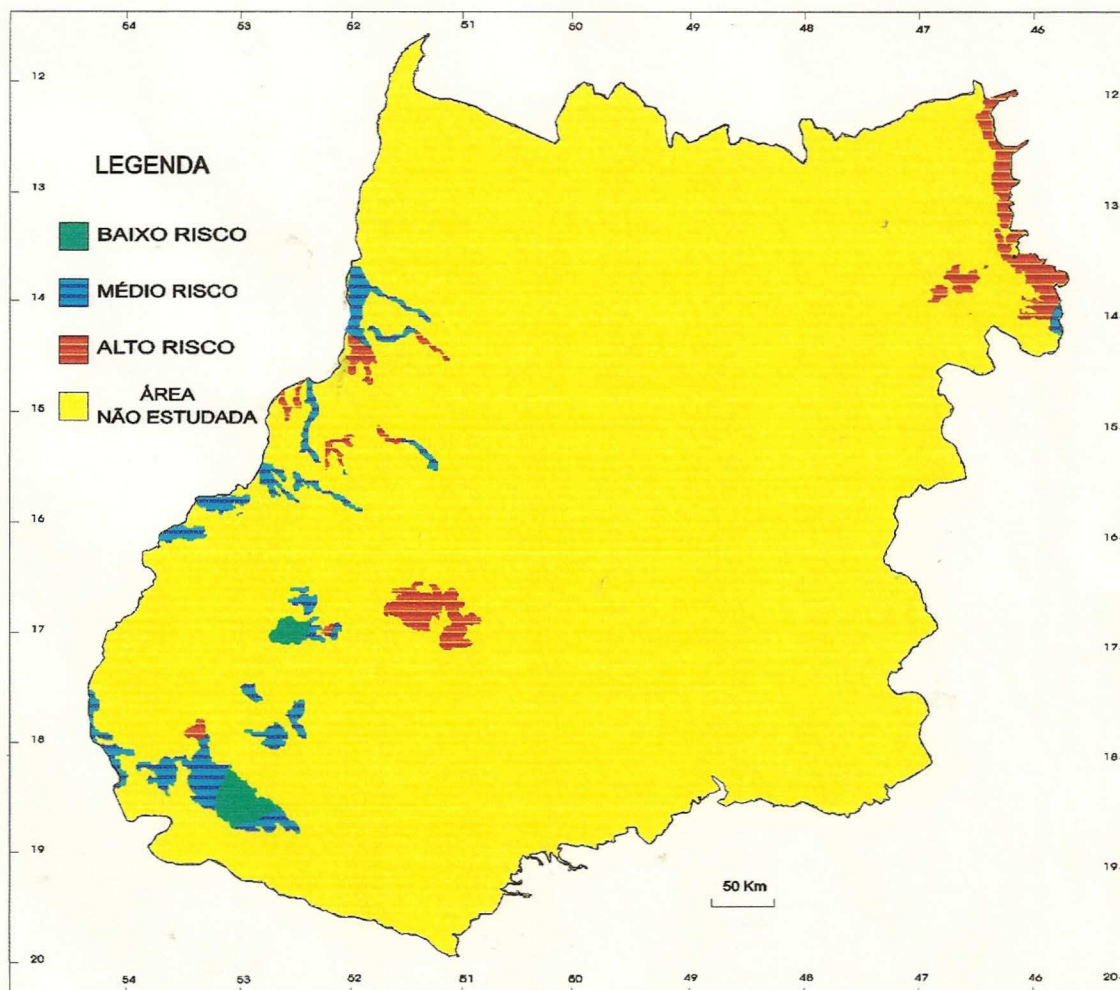


Figura 13 - Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 30/11.

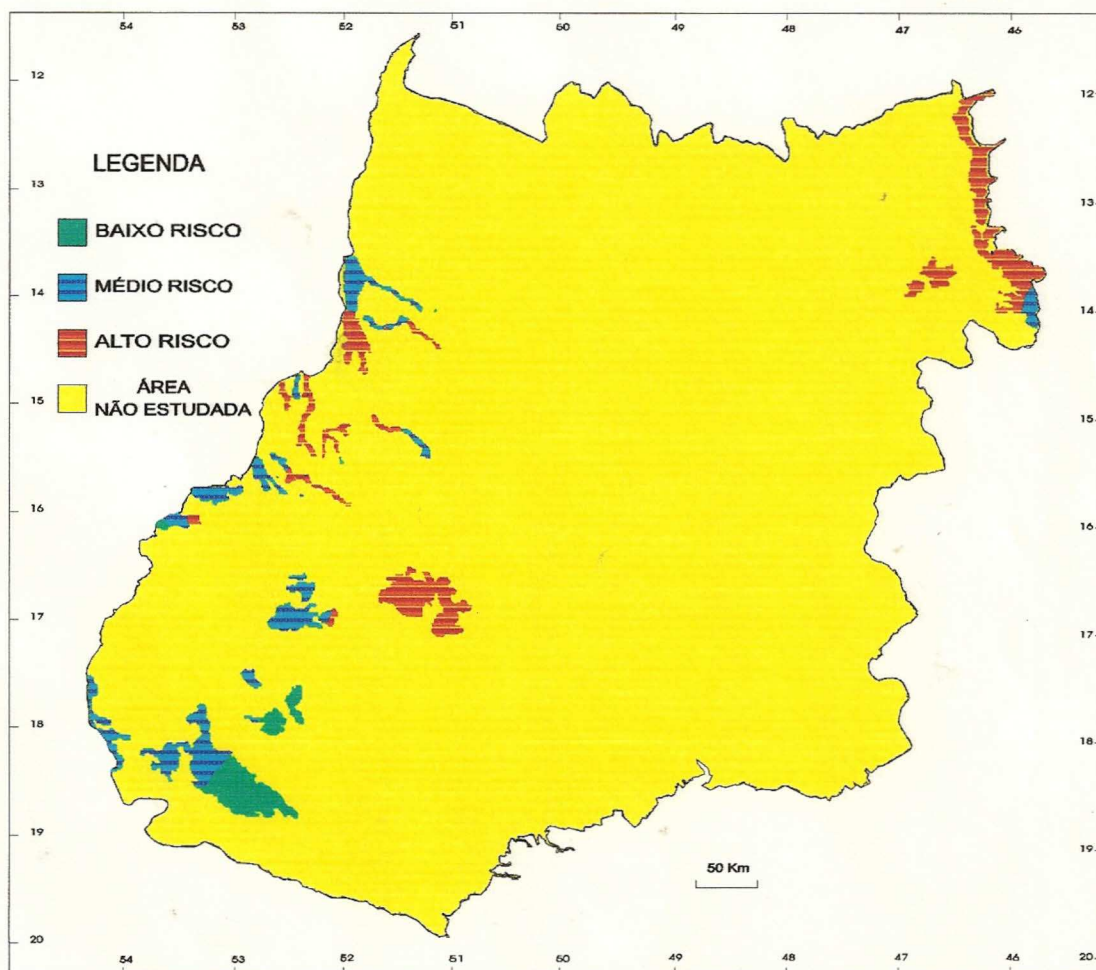


Figura 14 - Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 05/12.

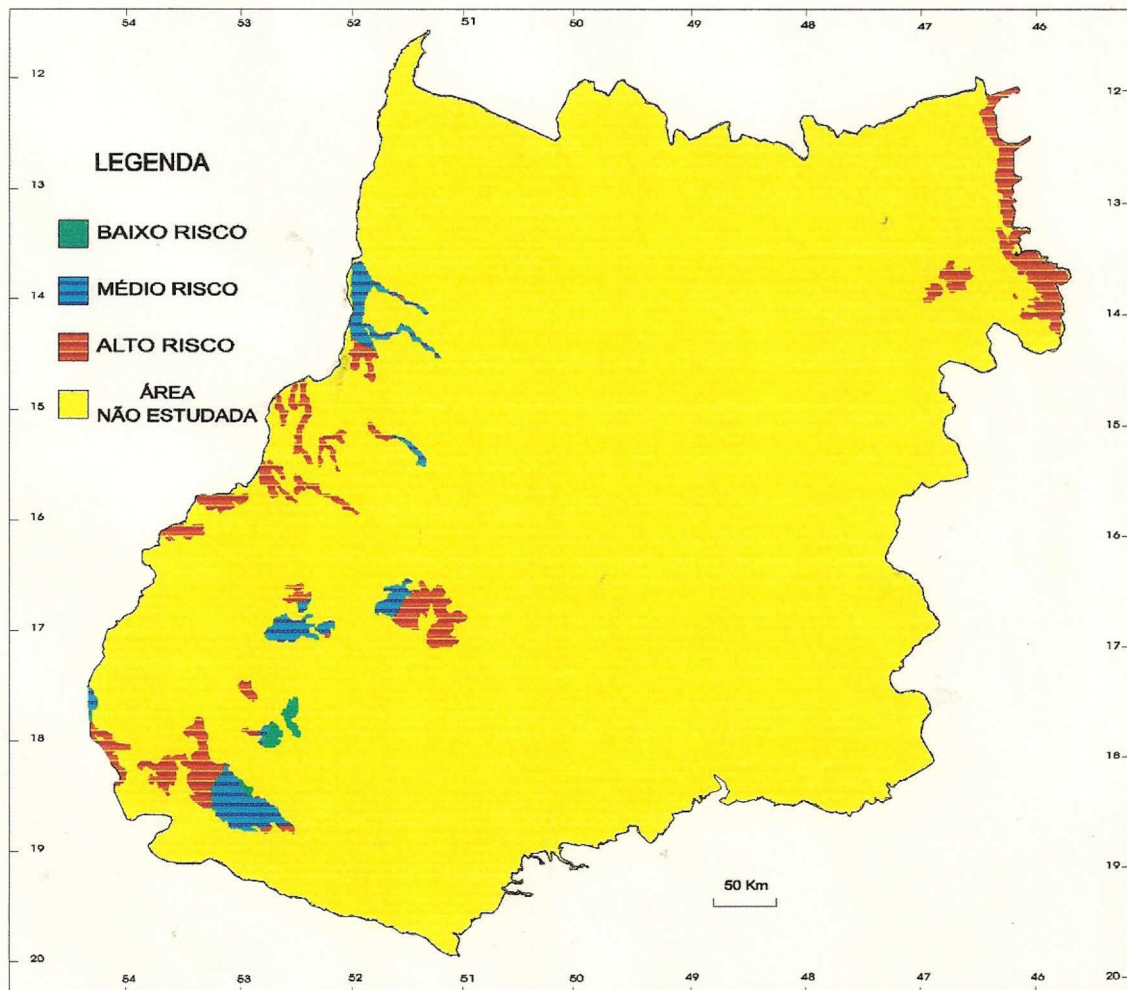


Figura 15 - Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 15/12.

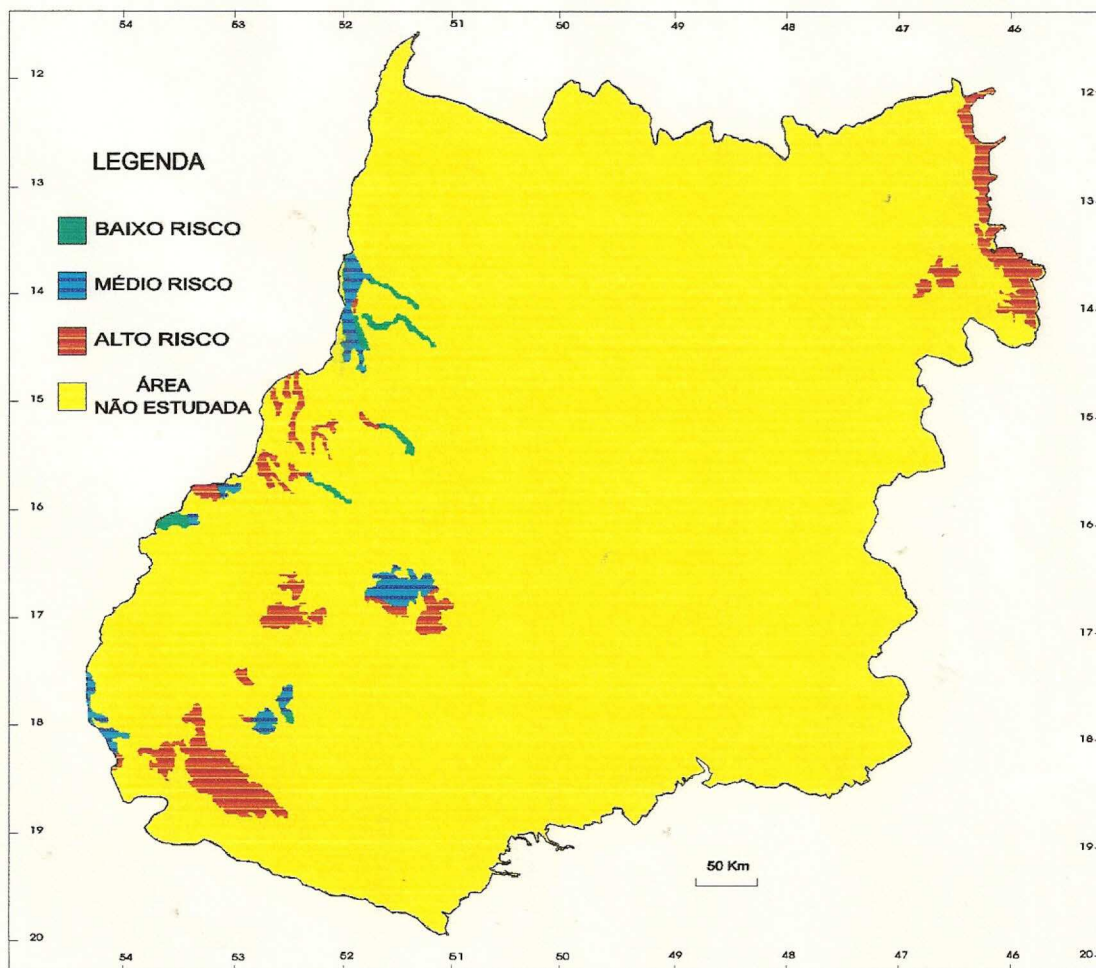


Figura 16 - Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 25/12.

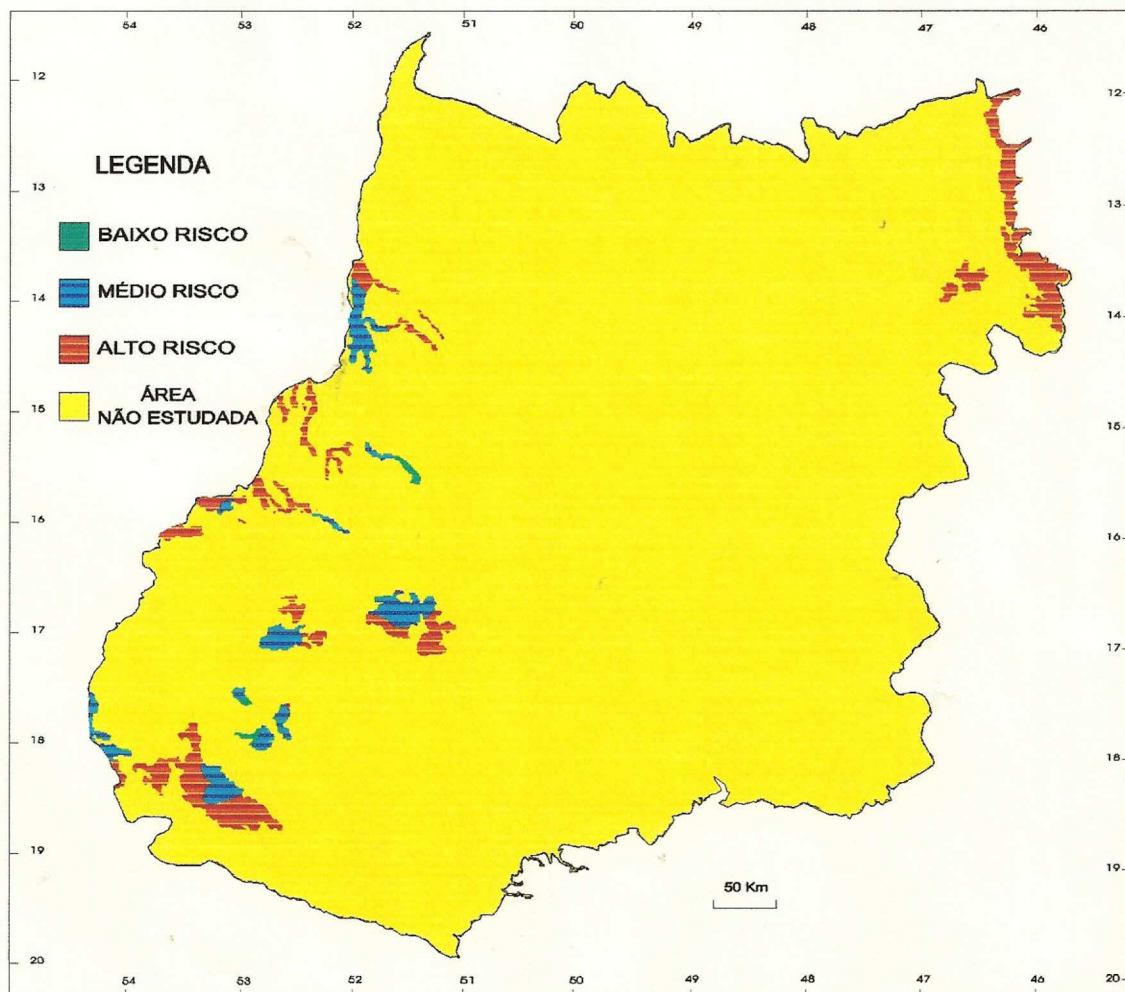


Figura 17 - Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 30/12.

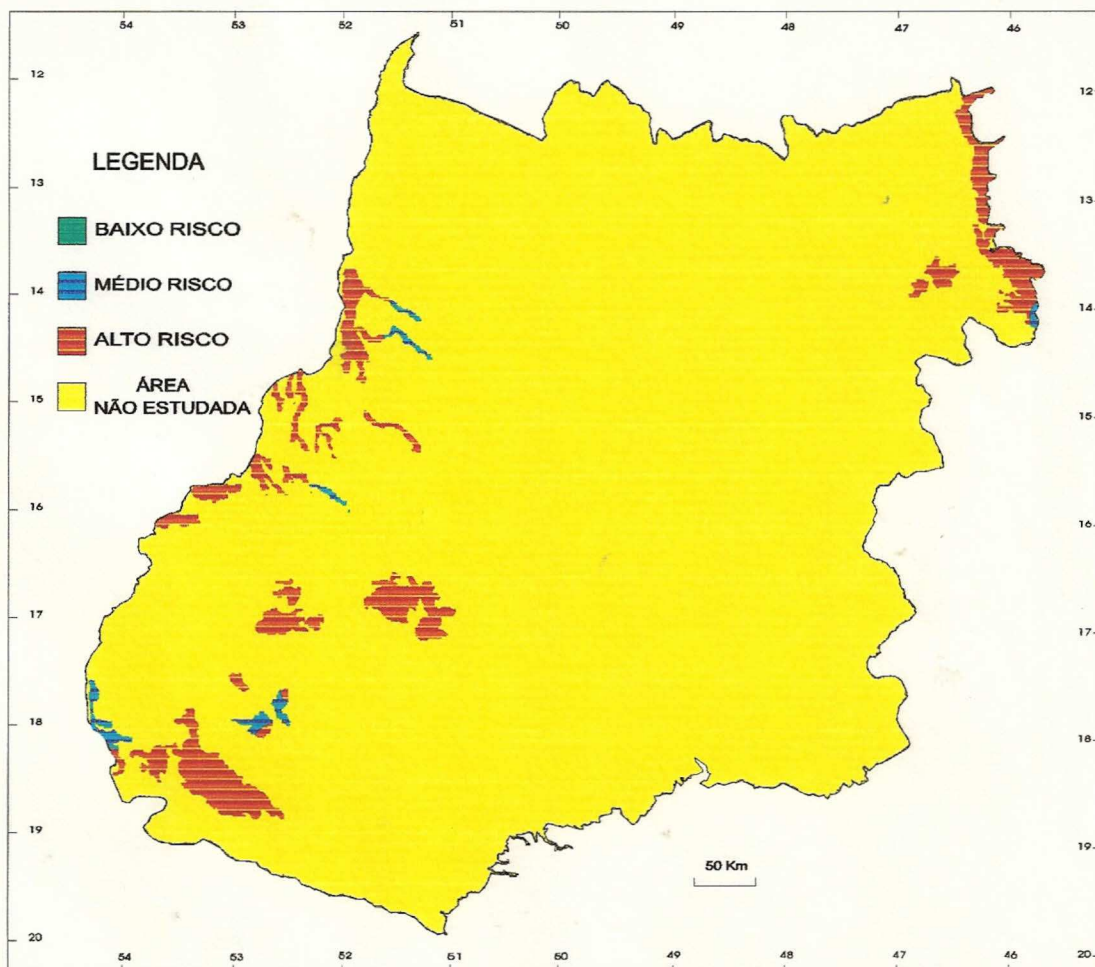


Figura 18 - Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 05/01.

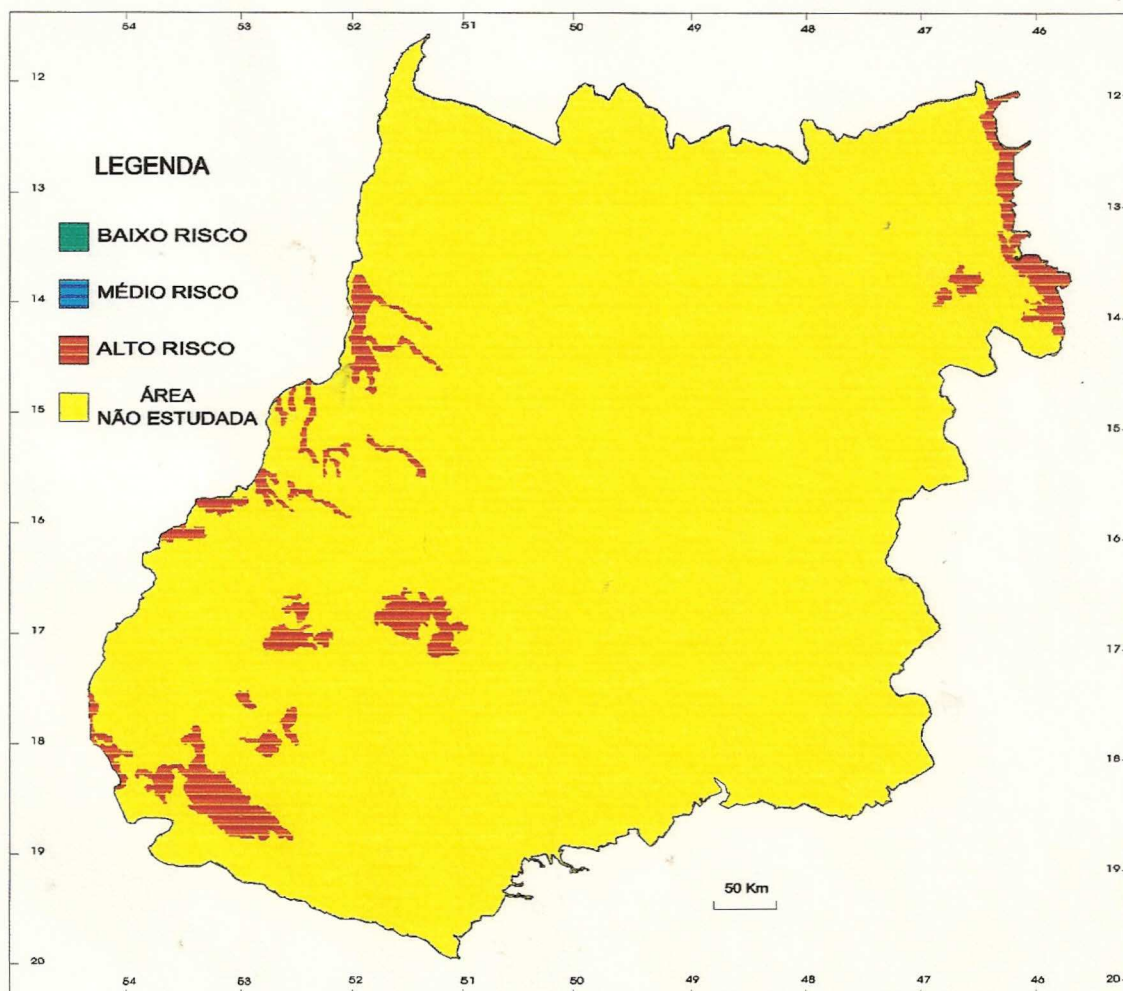


Figura 19 - Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 15/01.

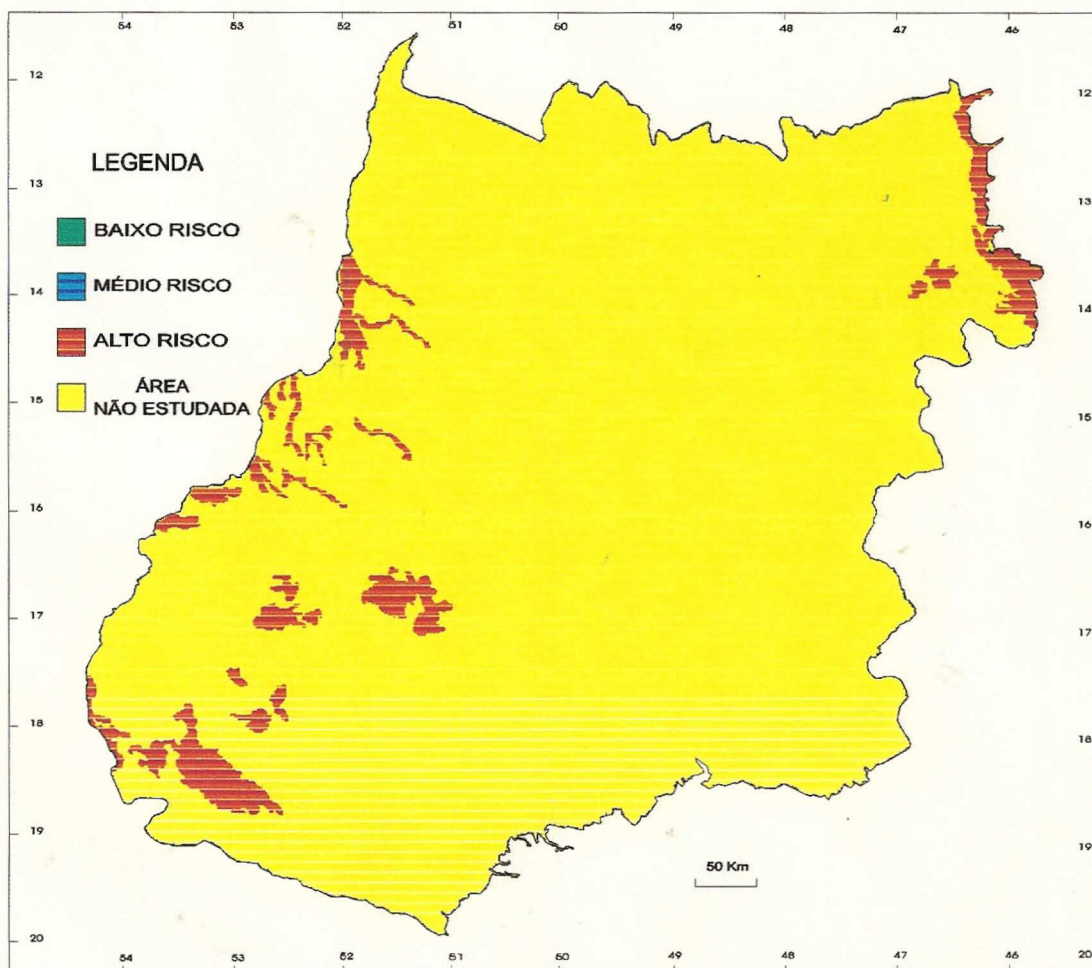


Figura 20 - Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 25/01.

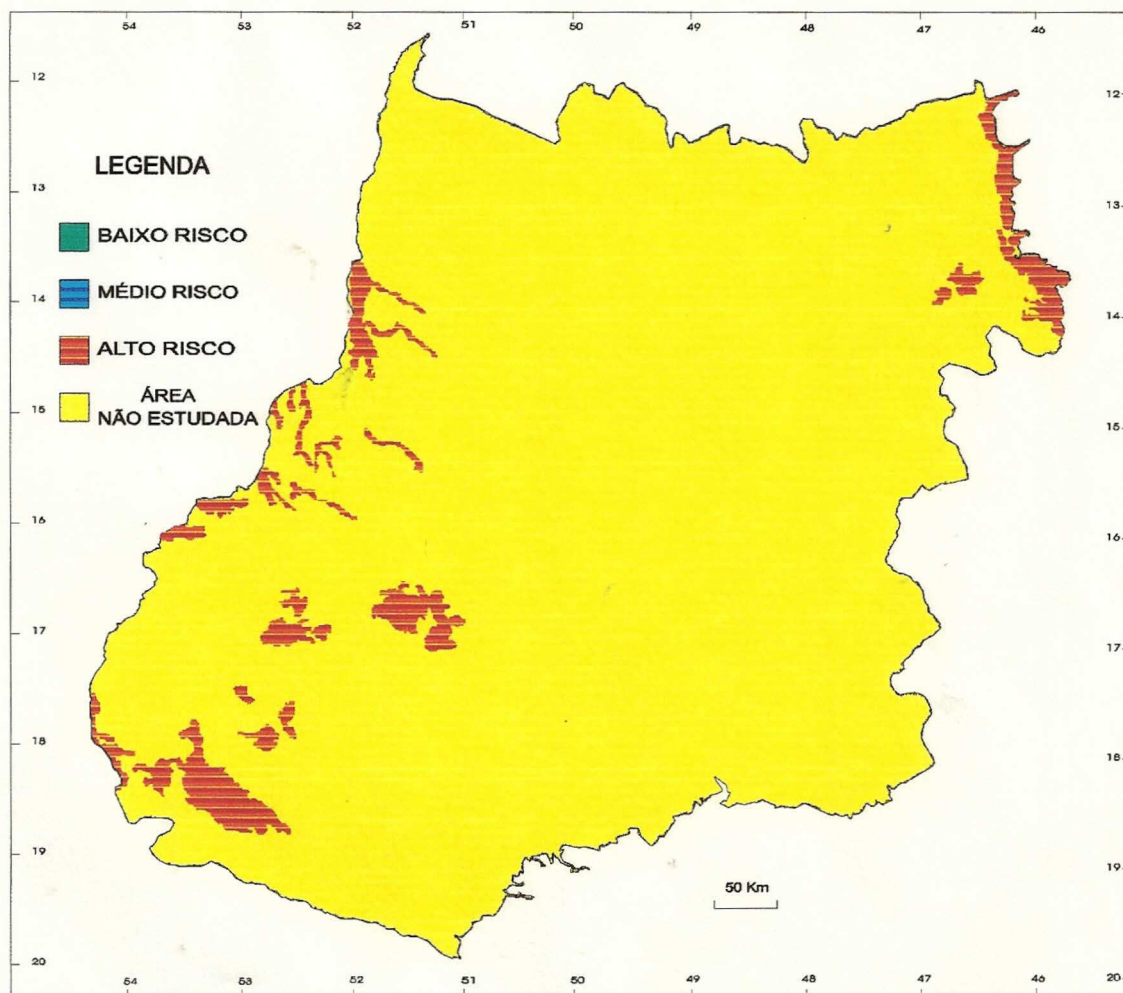


Figura 21 - Espacialização do risco climático em áreas com Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 30/01.

As Figuras 9 a 13 apresentam as situações nas áreas com os respectivos riscos climáticos para o arroz de sequeiro semeado em 01/11; 05/11; 15/11; 25/11 e 30/11. Isto significa que as datas de florescimento-enchimento dos grãos serão: 01/02; 05/02; 15/02; 25/02 e 30/02, respectivamente. Nas Figuras 9, 10, 11 e 12, são apresentadas as áreas com baixo risco climático na região Noroeste e na região Sul. Isto é evidente porque na data de florescimento-enchimento dos grãos, em meados de fevereiro, o índice pluviométrico é bastante elevado concorrendo para maior armazenamento de água no solo, exceto em algumas pequenas áreas.

Na Figura 13 observa-se que, para plantio em 30/11, apenas pequenas áreas localizadas no paralelo 17 e 18 com meridiano 52 e 53 (região Sul) apresentam condições de baixo risco climático, enquanto as demais áreas apresentam condições de médio e alto risco climático.

As Figuras 14 a 17 apresentam a situação de disponibilidade hídrica para a cultura do arroz de sequeiro plantado em 05/12; 15/12; 25/12 e 30/12, e a fase de florescimento-enchimento dos grãos, ocorrendo nas datas: 05/03; 15/03; 25/03 e 30/03, respectivamente. De acordo com a Figura 14, apenas as localidades situadas no paralelo 18 e meridiano 52 (região Sul) apresentam baixo risco climático; nas demais regiões, as condições são de médio e alto risco climático. Avançando-se 10 dias (Figura 15), para plantio em 15/12 e data de florescimento-enchimento dos grãos em 15/03, verifica-se que apenas uma pequena área localizada no paralelo 18 e meridiano 52 (região Sul) apresenta condição de baixo risco climático enquanto nas demais áreas as condições são de médio e alto risco climático. Entretanto, na Figura 16 que considera o plantio em 25/12, as regiões de baixo risco climático são apresentadas nos paralelos 14, 15 e 16 com meridianos 51 e 52 (região Noroeste).

É importante ressaltar a influência da quantidade e principalmente da distribuição pluvial sobre o cálculo do balanço hídrico, pois as figuras retratam diferenças significativas em períodos de até cinco dias.

Para plantio em 30/12, a fase de enchimento dos grãos ocorrerá em 30/03, situação esta apresentada na Figura 17 na qual observa-se que

praticamente não existem áreas com baixo risco climático, ou seja, 95% da área estudada apresenta condições de médio e alto risco climático.

Considerando, então, o cultivo do arroz de sequeiro no mês de janeiro, (Figuras 18; 19; 20 e 21), observa-se aumento acentuado da quantidade de áreas com alto risco climático. Tal fato favorece a conclusão de que para semeadura do arroz de sequeiro, ciclo 110 dias, nestas datas, a probabilidade de estresse hídrico é bastante elevada, pois a fase de florescimento-enchimento dos grãos ocorrerá em meados de abril, época em que o índice pluviométrico é muito pequeno ocorrendo considerável diminuição da quantidade de água armazenada no solo expondo, portanto, a cultura do arroz de sequeiro a um alto risco climático.

Finalmente, considerando todas as situações de risco climático para as áreas constituídas de Areia Quartzosa (AQ) e Areia Quartzosa Hidromórfica (AQH) observa-se que as regiões situadas na divisa com o Estado da Bahia, nos paralelos 12 e 13 e meridiano 45 (Região Leste), não apresentam nenhuma área com condição de baixo risco climático, (Figuras 9 a 21). Isto pode ser explicado pelo fato do Estado de Goiás apresentar um decréscimo no índice pluviométrico de Noroeste a Leste.

3.4. Espacialização do risco climático em áreas constituídas de Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LV)

As Figuras 22 a 34 retratam o comportamento do risco climático para o arroz de sequeiro, considerando-se as regiões constituídas de Latossolo Vermelho Escuro (LE) e Latossolo Vermelho Amarelo (LV) com capacidade de armazenamento de água no solo de 68mm/m.

Nas Figuras 22 a 26 que referem-se ao plantio em novembro, observa-se a existência de muitas áreas situadas nos paralelos 14 e 16 e meridiano 47 (Região Leste), com condição de alto risco climático.

A Figura 22 apresenta dois pontos, no paralelo 17 e meridiano 49 e 50 (Região Sul) com condição de alto risco climático, porém 70% de toda a área apresenta condição de baixo risco climático.

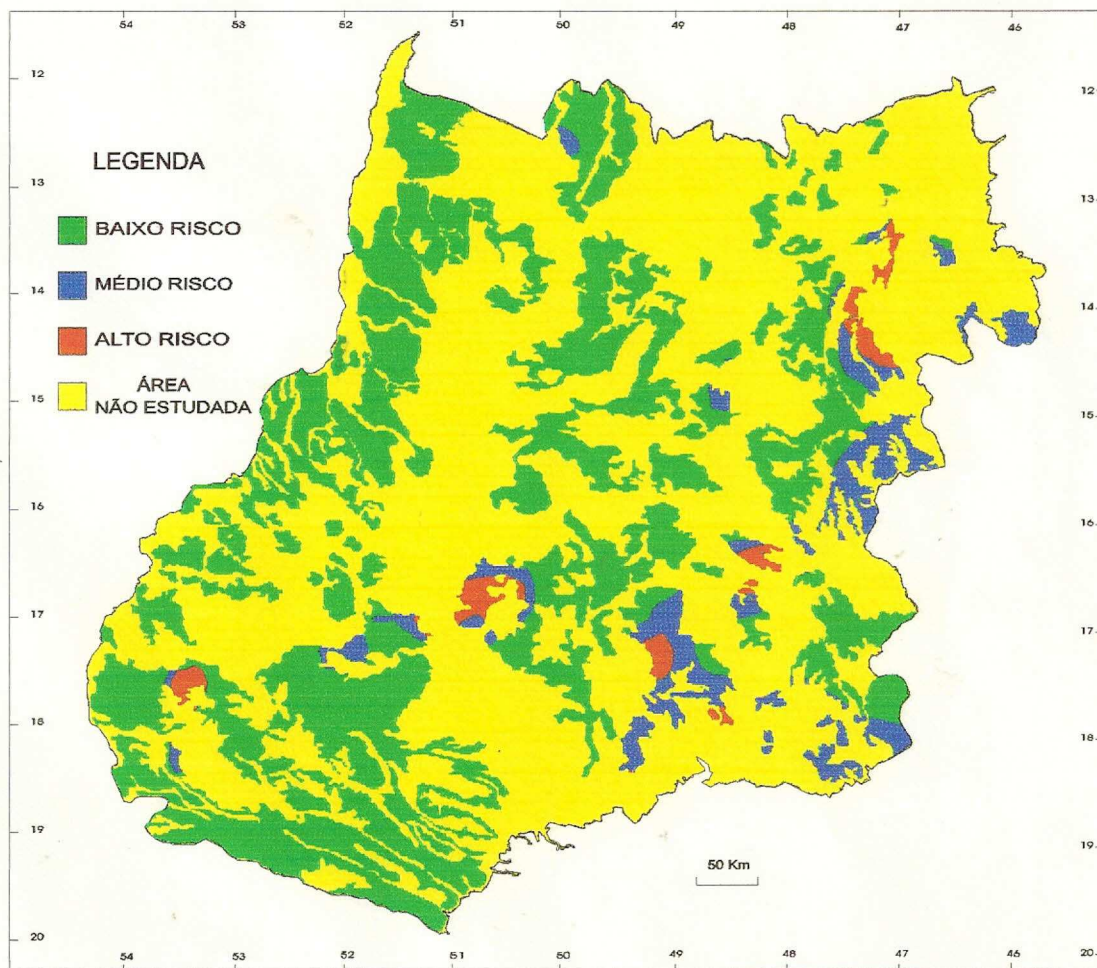


Figura 22 - Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 01/11.

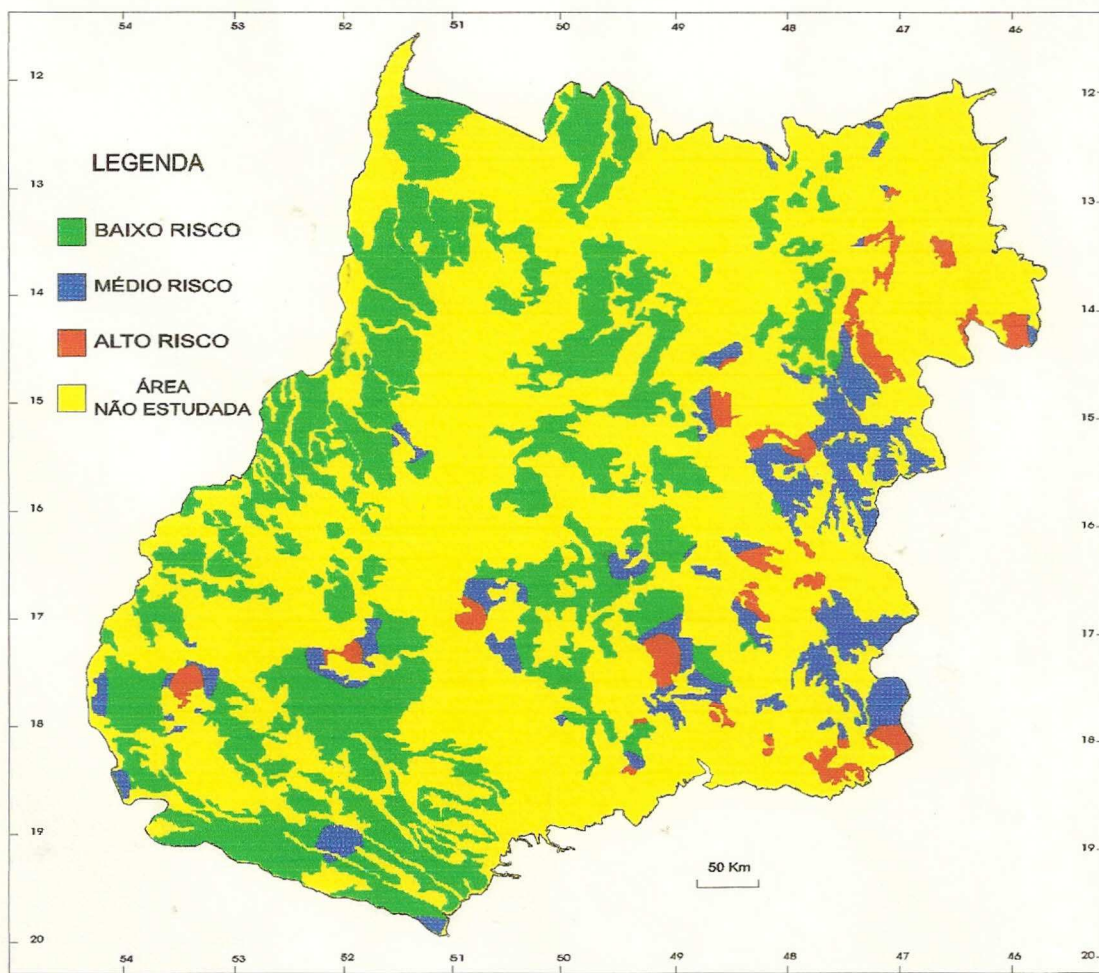


Figura 23 - Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 05/11.

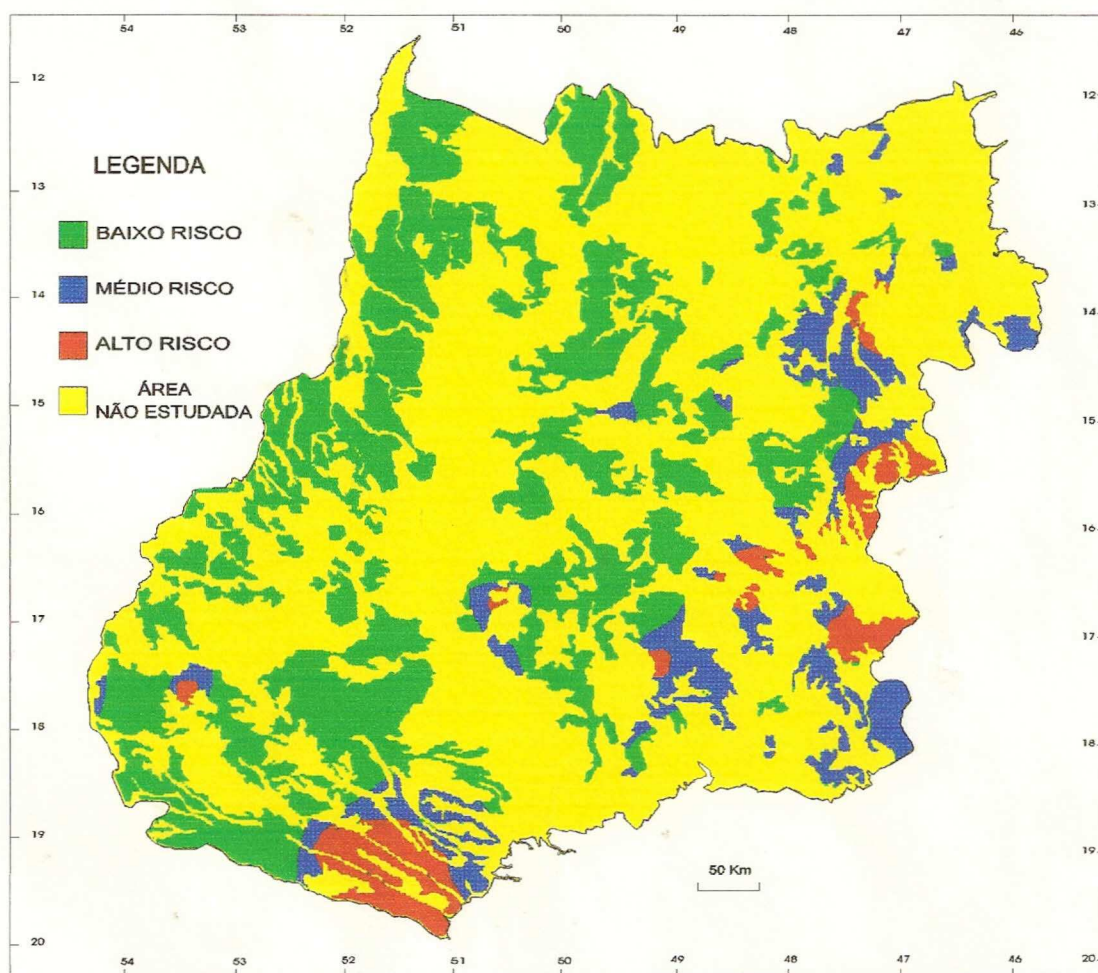


Figura 24 - Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 15/11.

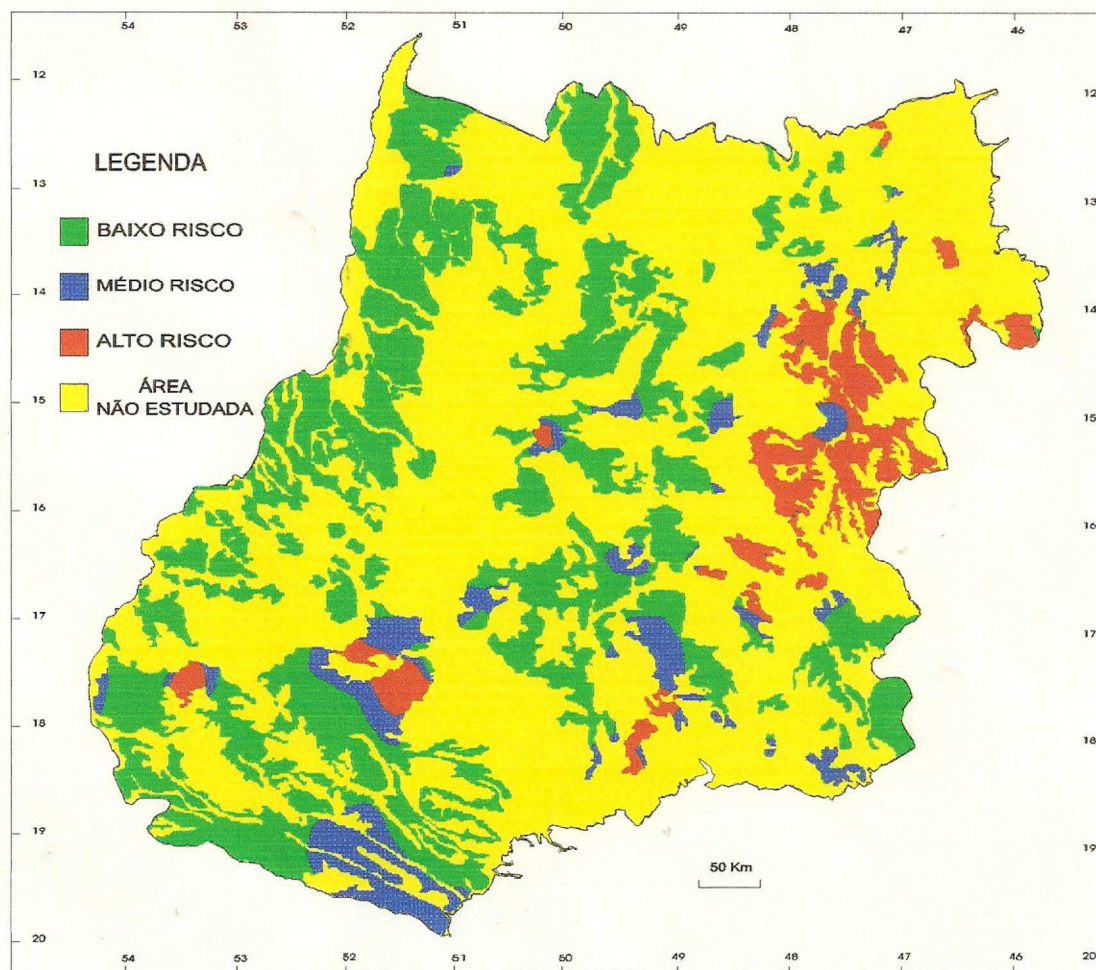


Figura 25 - Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 25/11.

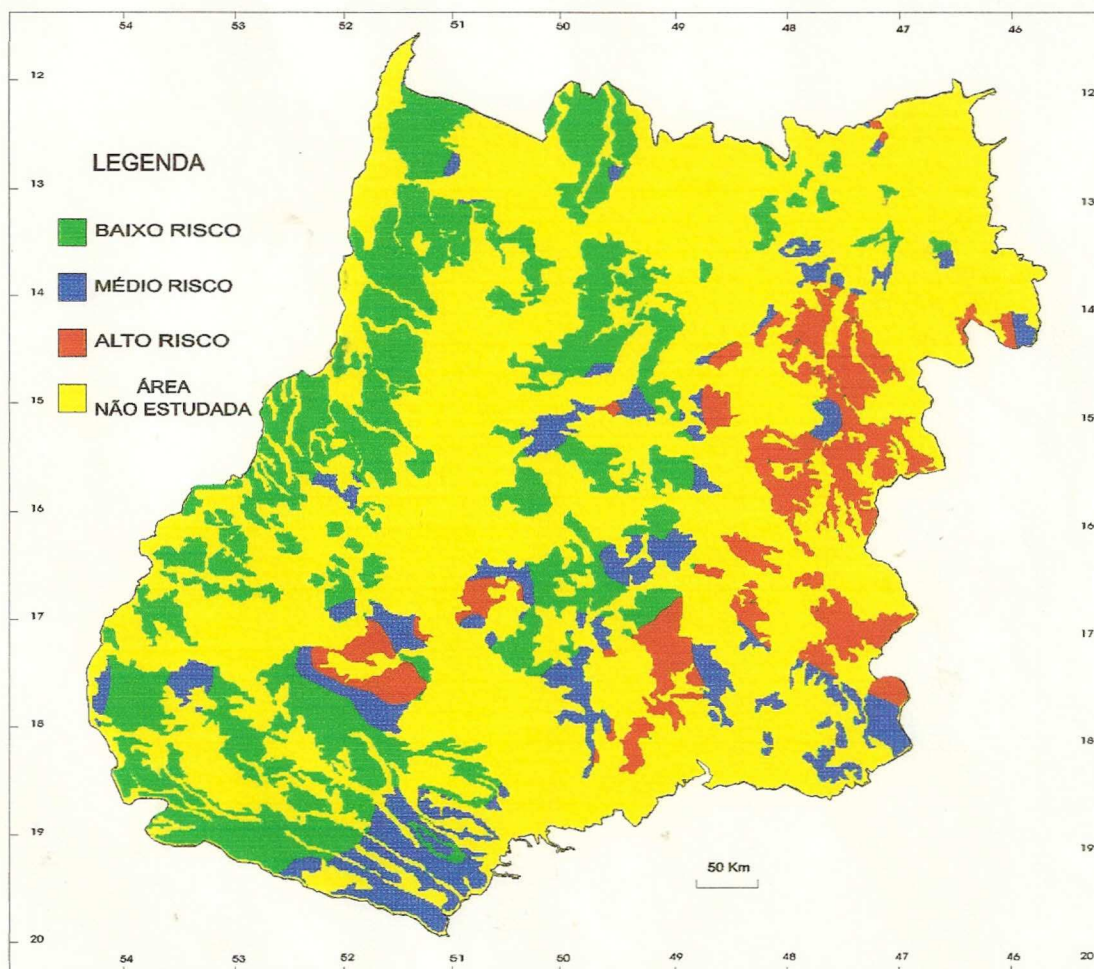


Figura 26 - Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 30/11.

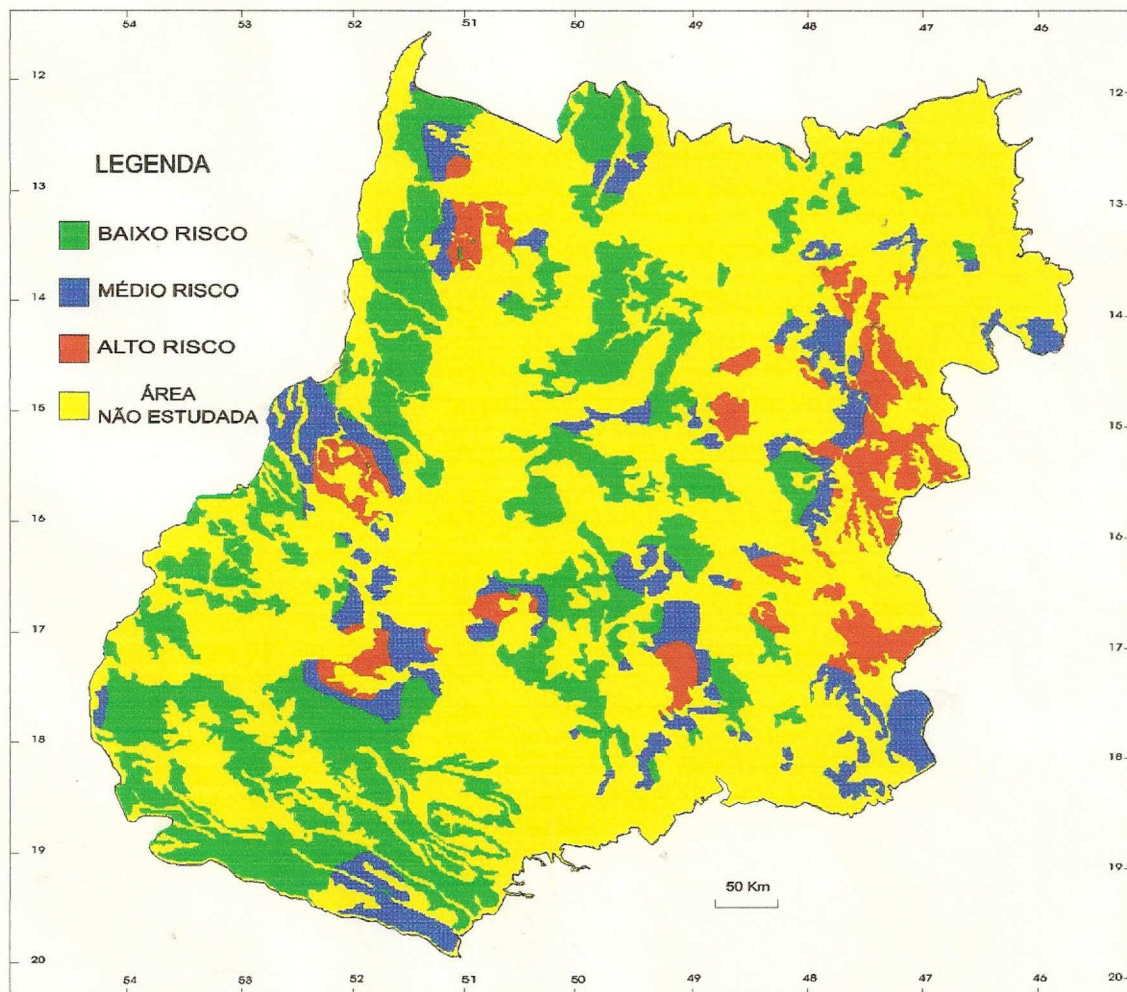


Figura 27 - Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 05/12.

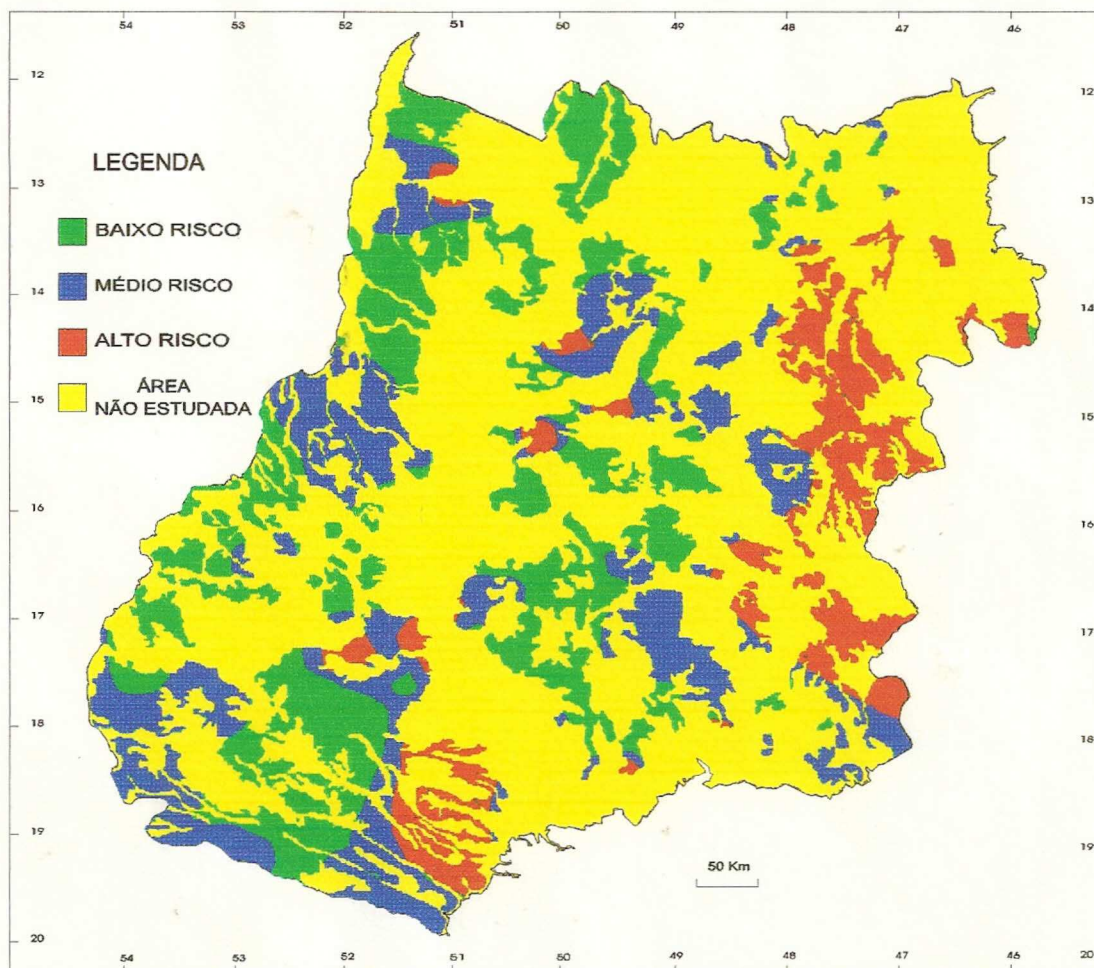


Figura 28 - Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 15/12.

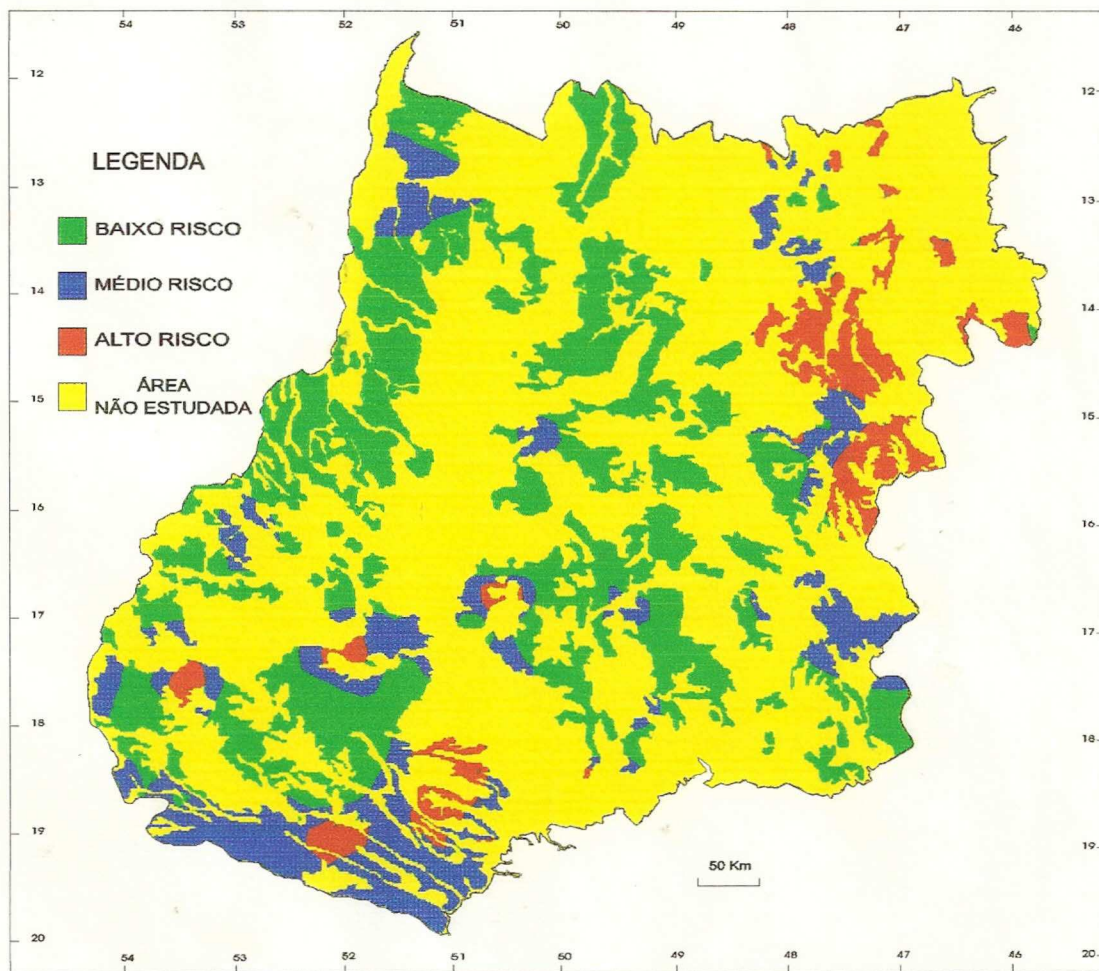


Figura 29 - Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 25/12.

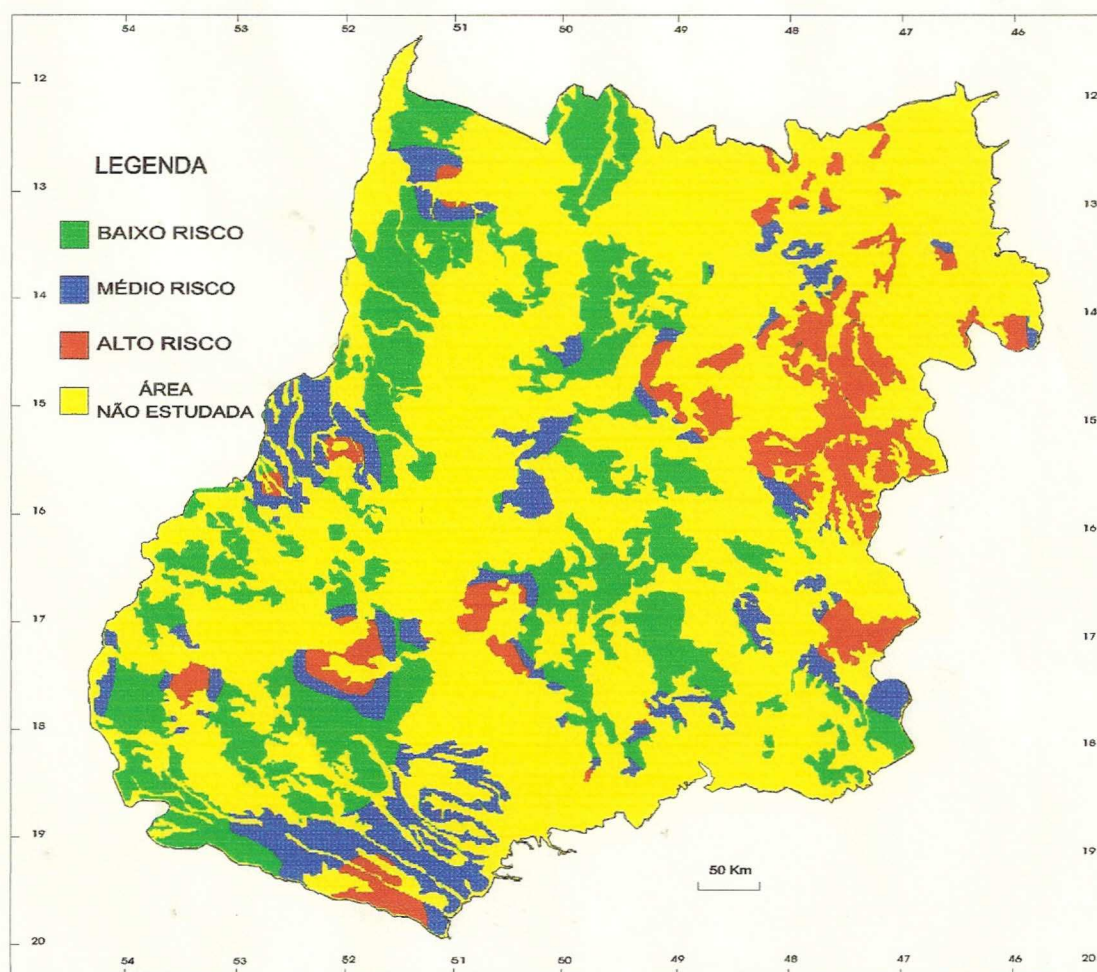


Figura 30 - Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 30/12.

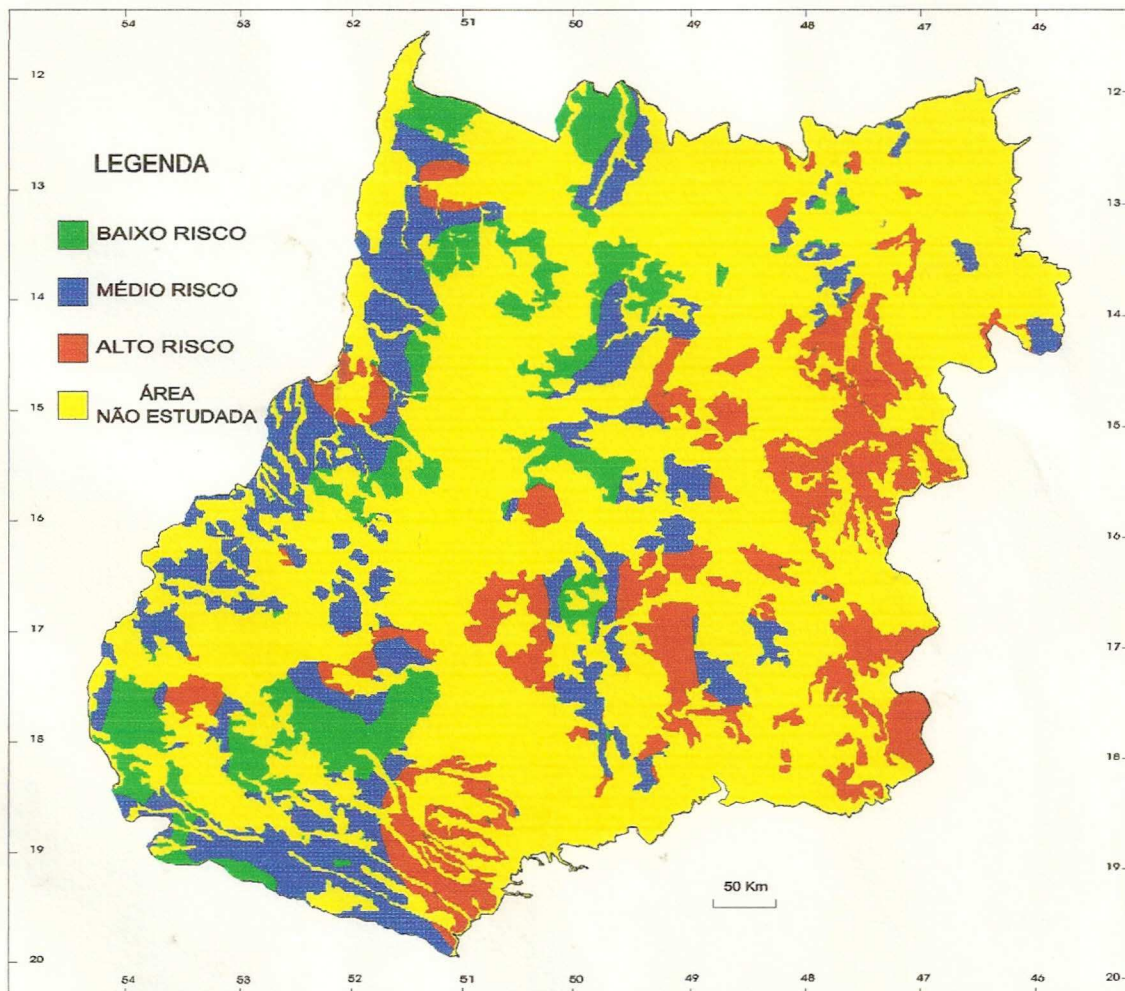


Figura 31 - Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 05/01.

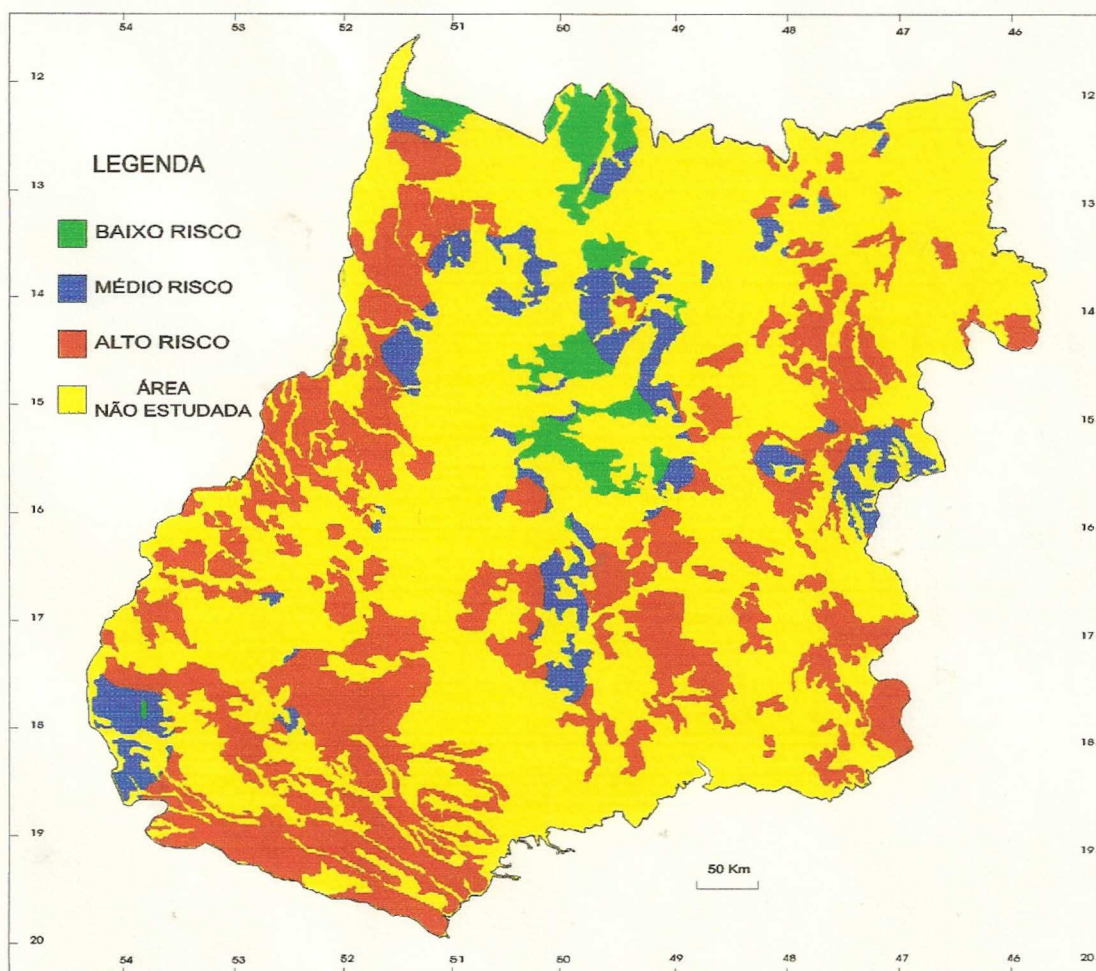


Figura 32 - Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 15/01.

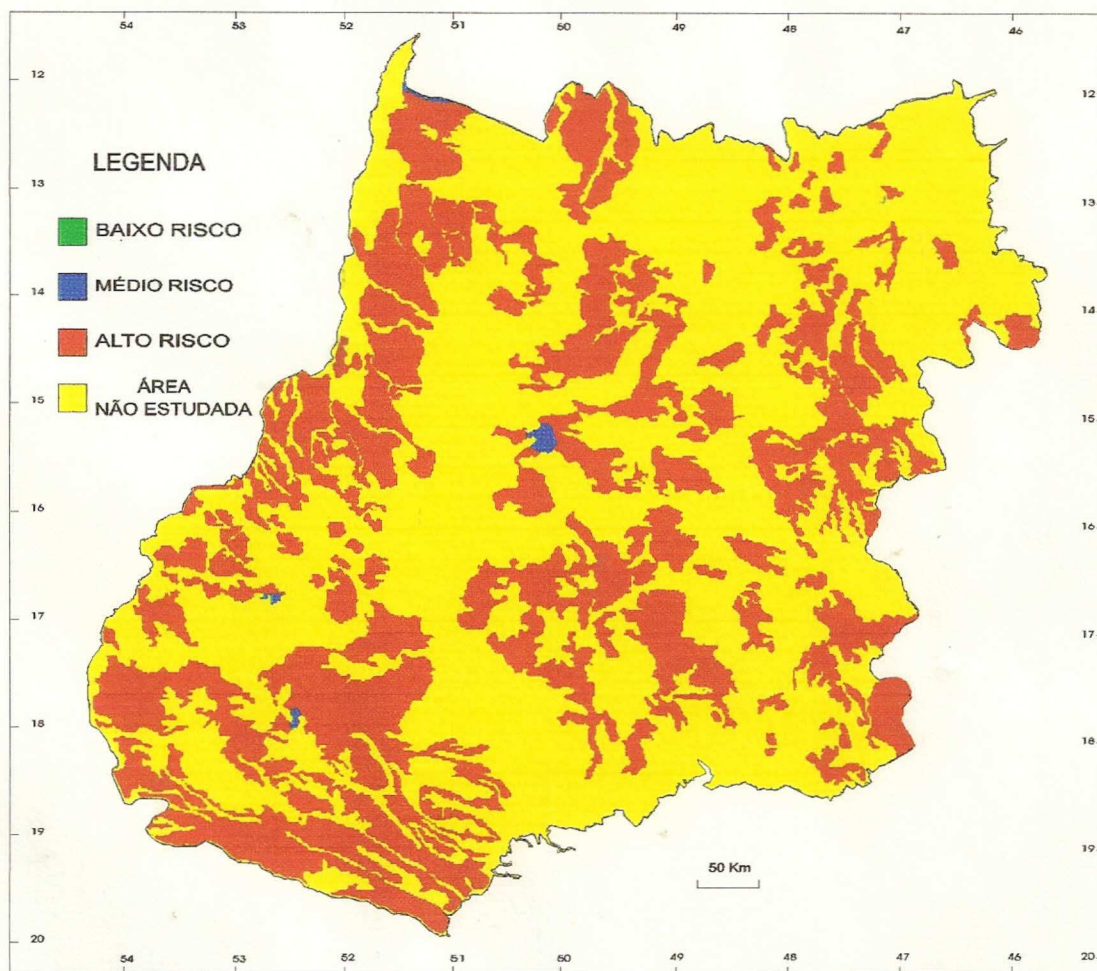


Figura 33 - Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 25/01.

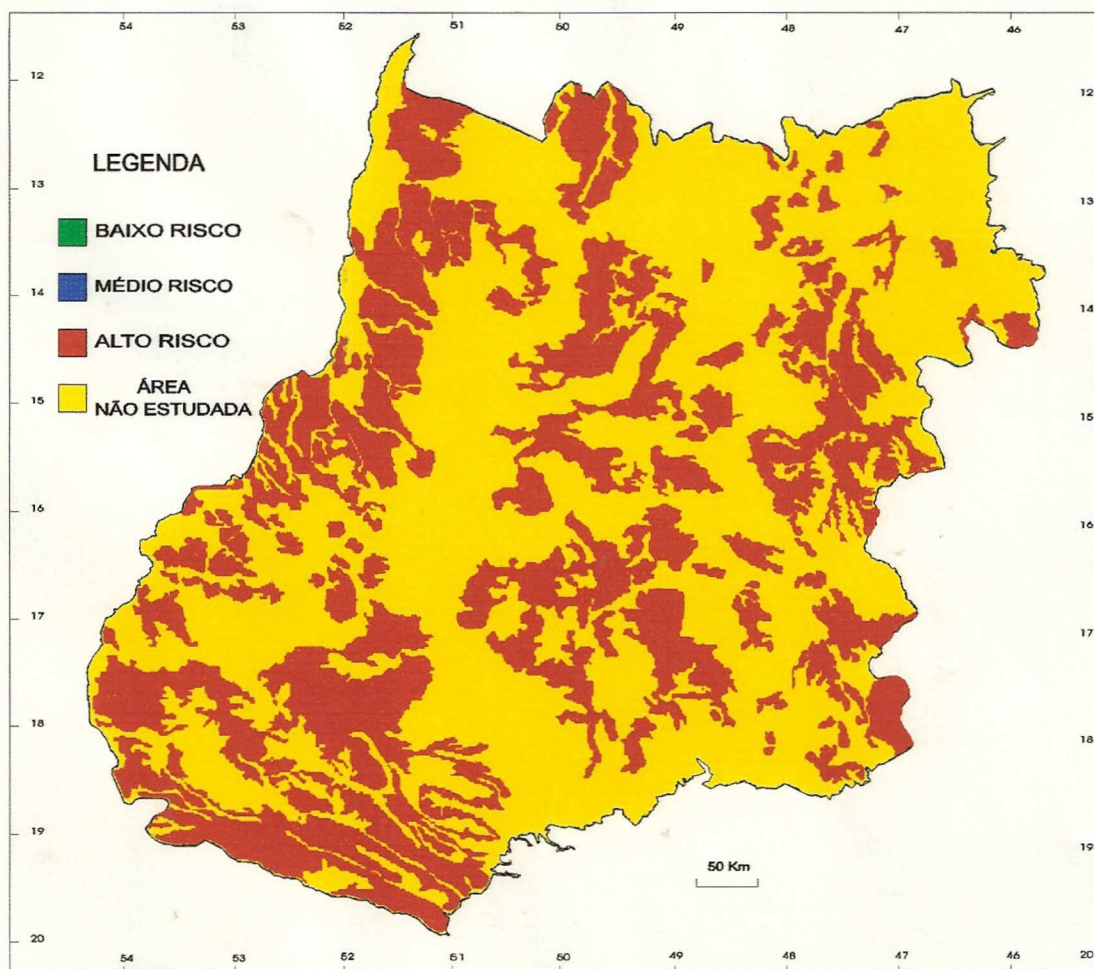


Figura 34 - Espacialização do risco climático em áreas com Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Estado de Goiás, para plantio do arroz de sequeiro em 30/01.

Comparando as Figuras 22, 23, 24, 25 e 26 em relação a uma área localizada no paralelo 17 e meridiano 47, observa-se que em 01/11, esta região apresenta condição de baixo risco climático (Figura 22). Entretanto, nas Figuras 23 (plantio em 05/11) e 24 (plantio em 15/11), as condições para esta mesma área é de médio e alto risco climático. No entanto, logo após 10 dias, para plantio em 25/11, a mesma área volta a apresentar condição de baixo risco climático (Figura 25). Seqüencialmente, na Figura 26 (plantio em 30/11), esta área apresenta condição de alto risco climático. Portanto, observa-se que, em algumas regiões do Estado de Goiás, ocorre grande variabilidade na distribuição pluviométrica.

Para as regiões situadas nos paralelos 19 e meridiano 51 (Região Sul), as Figuras 24, 25 e 26 retratam algumas regiões que não apresentam baixo risco climático devido ao fato do Estado de Goiás apresentar um decréscimo no índice pluviométrico de norte a sul.

Para plantio no mês de dezembro (Figuras 27 a 30), as situações de risco climático ficam mais comprometidas, apresentando maior número de regiões com condição de alto risco climático, comparando-se com o mês de novembro.

As Figuras 27 e 30 retratam que, para as localidades situadas no paralelo 15 e meridiano 52 (Região Noroeste), o arroz de sequeiro está exposto a alto risco climático, enquanto a Figura 28 apresenta um risco climático médio. Por outro lado, na Figura 29 observa-se que esta mesma região apresenta baixo risco climático para a cultura do arroz de sequeiro.

Para as localidades situadas no paralelo 15 e meridiano 48, a Figura 27 (05/12) apresenta condição de baixo risco climático e, logo após 10 dias (Figura 28), a condição é de médio risco; em seguida, 10 dias a mais (Figura 29), apresenta novamente condição de baixo risco climático e, finalmente, a Figura 30 (30/12) apresenta condição de alto risco climático. Portanto, entende-se que este estudo oferecerá subsídios para escalonamento de semeadura do arroz de sequeiro em algumas áreas do Estado de Goiás.

Para semeadura do arroz de sequeiro no mês de janeiro, o risco climático aumenta muito (Figuras 31 a 34), pois a fase de florescimento-enchimento dos grãos ocorrerá em meados de abril, época em que a

quantidade de precipitação pluvial no Estado de Goiás é muito pequena, conseqüentemente diminuindo a quantidade de água no solo.

A Figura 31 retrata a situação para o plantio em 15/01. Observa-se que o número de áreas que apresentam baixo risco climático é bastante reduzido, em relação aos meses anteriores. Após 10 dias (Figura 32), a situação é muito crítica, porque quase todas as áreas apresentam condição de alto risco climático, exceto algumas áreas localizadas no Cento-Norte do Estado de Goiás.

As Figuras 33 e 34 não apresentam nenhuma área com condição de baixo risco climático, pois, para plantios em 25/01 e 30/01, a fase de florescimento-enchimento dos grãos ocorrerá no final do mês de abril, época em que o índice pluviométrico é bastante reduzido.

As Tabelas 6 e 7 apresentam a distribuição percentual do risco climático (B-baixo, M-médio e A-alto) espacializado nas Figuras 9 a 34. Por exemplo, na Tabela 6, para semeadura em 01/11 (Figura 9), 43% da área constituída de Areia Quartzosa apresenta condição de baixo risco climático para a cultura do arroz de sequeiro e que 18% e 39% apresentam condição de médio e alto risco climático respectivamente. A interpretação é análoga para as demais situações.

Tabela 6 - Distribuição percentual do risco climático (B-baixo, M-médio e A-alto) em áreas de areia quartzosa, segundo a data de semeadura

DATA																				
01/11			05/11			15/11			25/11			30/11			05/12			15/12		
B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
43	18	39	49	18	33	52	24	24	26	45	29	16	37	47	17	36	47	4	31	65
DATA																				
25/12			30/12			05/01			15/01			25/01			30/01					
B	M	A	B	M	A	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B			
8	25	67	2	31	67	0	9	91	0	1	99	0	0	100	0	0	100			

Tabela 7 - Distribuição percentual do risco climático (B-baixo, M-médio e A-alto) nas áreas de Latossolo, segundo a data de semeadura

DATA																				
01/11			05/11			15/11			25/11			30/11			05/12			15/12		
B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
84	13	3	74	18	8	73	18	9	72	14	14	58	22	20	60	24	16	44	36	20
DATA																				
25/12			30/12			05/01			15/01			25/01			30/01					
B	M	A	B	M	A	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B			
60	28	12	54	26	20	22	42	36	9	17	74	0	1	99	0	0	100			

4. CONCLUSÕES

Este estudo resultou na caracterização do risco climático para a cultura do arroz de sequeiro, ciclo de 110 dias, no Estado de Goiás, considerando-se as áreas constituídas de Areia Quartzosa, Areia Quartzosa Hidromórfica, Latossolo Vermelho Escuro e Latossolo Vermelho Amarelo.

Em relação à área total do Estado de Goiás, os solos classificados como Areia Quartzosa e Areia Quartzosa Hidromórfica constituem cerca de 5% e os Latossolo Vermelho – Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, aproximadamente 35%.

Embora o modelo de balanço hídrico utilizado, fora validado para algumas regiões do Oeste da África que apresentam condições semelhantes às que este estudo foi desenvolvido, realizou-se um teste de validação deste modelo antes de sua utilização. Os resultados obtidos levaram à conclusão que é possível aplicar este modelo para as condições agroclimáticas do Estado de Goiás, pois, conforme a análise estatística, a equação de regressão explica 84% da variação de significância, e o grau de confiança é superior a 99%. Assim, como a quantidade de água no solo estimada pelo modelo é aceitável, conseqüentemente a estimativa da evapotranspiração também é confiável.

Os meses de agosto e setembro apresentaram maior perda de água para a atmosfera, destacando-se a localidade de Goiás (Lat. 15° 56' 04" ; Long. 50° 08' 25" e Alt. 496m), que apresentou uma evapotranspiração potencial de

6.9mm/dia, e a região de Catalão (Lat. 18° 10' 18" ; Long. 47° 56' 31" e Alt. 835m) que apresentou menor índice de evapotranspiração potencial, ou seja, 3.1mm/dia. Acredita-se que estas informações são muito importantes para o planejamento agrícola, principalmente o manejo de irrigação.

O Sistema de Informações Geográficas, desenvolvido pelo INPE, mostrou ser um instrumento de suma importância na espacialização do risco climático para a cultura do arroz de sequeiro, no Estado de Goiás.

Os resultados deste trabalho mostram grande variabilidade pluviométrica em Goiás, pois, na seqüência das figuras, observa-se que, para uma mesma região, o risco climático pode variar em até cinco dias.

As áreas situadas na Região Leste (paralelos 12 e 13 com meridiano 46) não apresentam nenhuma data com condição de baixo risco climático para a cultura do arroz de sequeiro.

Pode-se também concluir que quanto maior o retardamento do plantio do arroz de sequeiro, maiores serão os riscos climáticos, principalmente se a semeadura ocorrer em meados do mês de janeiro.

Além disso, os dados mostram que o risco climático apresenta uma tendência em aumentar de Norte para Sul e Oeste para Leste.

Finalmente, os resultados deste estudo fornecem informações importantes, para escalonamento de plantio e planejamento de uma política agrícola, bem como para definição de novas diretrizes de pesquisa nas áreas que apresentam condição de alto risco climático, para o plantio do arroz de sequeiro em Goiás.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFFHOLDER, F. Effect of organic matter input on the water balance and yield of millet under tropical dryland condition. **Field Crop Research**, v.41, p.109-121, 1995.
- AKITA, S. Aspectos ecofisiológicos relacionados ao aumento do potencial de rendimento biológico e comercial da cultura do arroz (*Oryza sativa* L.). In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ARROZ PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE, 9., 1994, Goiânia. **Arroz na América Latina: perspectivas para o incremento da produção e do potencial produtivo**. Goiânia, EMBRAPA-CNPAP-APA, 1995. v.1 (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 60).
- ALBERGEL, J.; PEREZ, P., VAKSMANN, M. Amélioration des modèles de bilan hydrique sur parcelle par la prise en consideration des états de surface. In: SIVAKUMAR, M.V.K., WALLACE, J.S., RENARD, C. et. al. **Soil water balance in the Sudano-Sahelian zone: proceedings of a workshop**. Niamey, International Association of Hydrology Science, 1991. p.483-496.
- ASSAD, E.D. **Simulation de irrigation et du drainage pour les pluvielles de riz de maiz en soils de bas-fonds a Brasília**. Montpellier, IRAT, 1986 10p. (Memories et Travaux de IRAT, 13).
- ASSAD, E.D., SANO, E.E. (Eds.). **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1993. 274p.
- AZEVEDO, J.A., SILVA, E.M., RESENDE, M. et. al. **Aspectos sobre manejo da irrigação por aspersão para o cerrado**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1983. 53p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 16).
- BERGAMASCHI, H. (Coord.). Desenvolvimento de déficit hídrico em culturas: In:----, **agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre, UFRGS, 1990. p.17-26.

- CAMARA, G. Anatomia de sistema de informações geográficas: visão atual e perspectiva de evolução. In: ASSAD, E.D., SANO, E.E. (Eds). **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1993. 274p.
- CAMPOS, I.O. **Análise de técnicas para o estabelecimento de modelos digitais de terrenos (DTM)**. São Carlos: USP, 1994. 85p. Dissertação. (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade de São Paulo, 1994.
- CLARKE, K.C. Recent trends in geographic information system research. **Geo-Processing**, v.3, p.1-15, 1986.
- CRAFTS, A.S. Water deficit and physiological process. In: KOZLOWSKI, T.T. (Ed.). **Water deficits and plant growth**. New York: Academic Press, 1968. v.2, p.85-133.
- CUNHA, G.R., RODRIGUES, O., SILVA, M.S. et. al. Teste do modelo EPIC-trigo, em Passo Fundo, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9, 1995, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1995. p.400-401.
- DAKER, A. **A água na agricultura: irrigação e drenagem**. 4.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1973. v.3, 453p.
- DE DATTA, S.K., LEVINE, G., WILLIAMS, A. Manejo del agua y necesidades de riego del arroz. In: CULTIVO del arroz: manual de producción. Limusa: Escuela de Agricultura/Universidade de Filipinas/ Instituto Internacional para la Investigación del Arroz, 1979. p.121-135.
- DOORENBOS, J., KASSAN, A.H., BENTVELSEN, C.L.M. et. al. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1994. 306p. (Estudos FAO - Irrigação e Drenagem, 33).
- DYER, J.A.; MACK, A.R. The versatile soil moisture budget-version three. Ottawa, Agriculture Canada, 1984. 24p. (Tech. Bull, 1984 - 1E).
- EAGLEMAN, A.M. An experimentally derived model for actual evapotranspiration. **Agricultural Meteorology**, v.8, n.4/5:p.385-409, 1971.
- EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado (Planaltina, DF). **Relatório técnico anual**. Planaltina: 1976. 150p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (Goiânia, GO). **Profundidade de incorporação de adubos: aspectos importantes no cultivo do feijão**. Goiânia: 1982. 6p.
- ENCARNAÇÃO, C.R.F. **Exigências hídricas e coeficientes culturais da batata (*Solanum tuberosum* L.)**. Piracicaba: USP-ESALQ, 1987. 53p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1987.

- ENGESPAÇO. **Sistema de Informações Geográficas-SGI**: manual do usuário versão 2. São José dos Campos: 1996. 1v.
- ENGLE, S.W. **CERBERUS Release notes**: version 1.0. Moffett Field, California: NASA Ames Research Center, 1985.
- FAGERIA, N.K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: EMBRAPA-DPU, 1989. 425p. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 18).
- FAGERIA, N.K.; GUIMARÃES, C.M. & PORTES, T.A. Deficiência de ferro em arroz de sequeiro. **Lavoura Arrozeira**, v.47, n.416, p.3-5, 1994.
- FARIAS, R.T., BOIVERT, J., COSTA, A.C.S. et. al. **Utilização de técnicas de modelagem na estimativa da umidade do solo sob culturas anuais no Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1993. 40p. (IAPAR. Boletim Técnico, 40).
- FELGUEIRAS, C. A. **Desenvolvimento de um sistema de modelagem digital de terreno para microcomputadores**. São José dos Campos: INPE, 1987. 243p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1987.
- FISHER, P., MACKANESS, C. Are cartographic expert systems possible? **Proceedings Autocarto**, v.8, p.530-534, 1987.
- FOREST, F. **Simulation du bilan hydrique des cultures pluviales: présentation et utilisation du logiciel BIP**. Montpellier: IRAT-CIRAD, 1984. 63p.
- FOREST, F., REYNIERS, F.N. Proposals for the classification of agroclimatic situations of upland rice in terms of water balance. In: PROGRESS IN UPLAND RICE RESEARCH, 1985 jakarta conference, Manila: IRRI, 1986. p. 93-106.
- FRETEAUD, J.P., POSS, R., SARAGONI, H. Ajustement d'un modèle de bilan hydrique à des mesures tensio-neutroniques in situ sous culture de maiz. **Agronomie Tropicale**, v.42, p.94-102, 1987.
- GOODCHILD, M.F. **Geographic Information Systems in undergraduate geography**: a contemporary dilemma the operational geographer. v. 8, p.34-38. 1987.
- GUPTA, P.C., O'TOOLE, J.C. **Upland rice**: a global perspective. Manila: IRRI, 1986. 360p.
- HARGREAVES, G.T. Estimation of potencial and crop evapotranspiration. **Transaction of the ASAE**, v.17, n.4, p.701-704, 1974.

- HARGREAVES, G.H. **Potential evapotranspiration and irrigation requirements for Northeast Brazil.** Logan: Utah State University, 1976. 54p.
- HOOGENBOON, G., JONES, J.W., BOOTE, K.J. Modeling growth, development, and yield of grain legumes using soygro, pnutgro, and beangro: a review. **Transactions of the ASAE**, v.35, n.6, p.2043-2056, 1992.
- HSIAO, T.C. The soil plant atmosphere continuum in relation to drought and crop production. In: **DROUGHT resistance in crops with emphasis on rice.** Los Baños: International Rice Research Institute, 1982. p.39-52.
- KALMS, J.M. **L'evapotranspiration reelle maxima (ETm) du riz en région Centre de Côte d'Ivoire.** Bouaké: Institute des Savanas-Departemente des Cultures Vivrières, 1980. 15p.
- KLUTHCOUSKI, J., PACHECO, A.B., TEIXEIRA, S.M. et. al. **Renovação de pastagens de cerrado com arroz. I. Sistema Barreirão.** Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1991. 20p. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 33).
- KLUTHCOUSKI, J., SÉGUY, L., BOUZINAC, S.R.R., et.al. O arroz nos sistemas agrícolas do cerrado. In: **REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 3, 1987, Goiânia. Anais.** Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1991b. p.282-330 (EMBRAPA-CNPAP - Documentos, 25).
- KRAMER, P.J. Tension hidrica y crecimiento de las plantas. In: **RELACIONES hidricas de suelos y plantas: una sintesis moderna.** Mexico: EDTEX/Centro Regional de Ayuda Tecnica, 1974. p. 393-443.
- MANZAN, R.J. Irrigação por aspersão na cultura do arroz. **Informe Agropecuário**, v.10, n.114, p.38-40, 1984.
- MACKEOWN, D.M. Knowledge-based aerial photo interpretation. **Photogrammetrie**, v.39, p.91-123, 1984.
- MARBLE, D.F., PEUQUET, D.J. **Geographics information system and remote sensing: manual of remote sensing.** 2.ed. Falls Church: American Society of Photogrametry, 1983. p.923-958.
- MATSUSHIMA, S. **Some experiments on soil-plant relationships in rice.** Kuala Lumpur: Kuala Lumpur Cooperative, 1962. 35p.
- O'TOOLE, J.C., MOYA, T.B. Water deficits and yield in upland rice. **Field Crops Research**, v.4, n.247-259, 1981.
- PFEFFERKORN, C., BURR, D., HARRISON, D., etl al. A cartographic Expert System. **Proceedings of AutoCarto**, v.7, n.271-275, 1985.

- PINHEIRO, B. da S. **Estudo das relações hídricas durante o processo de emissão de panículas e antese do arroz de sequeiro (*Oryza sativa* L.)**. Campinas, UNICAMP, 1989.176p. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade de Campinas, 1989.
- POSS, R. **Transferts de l'eau et des éléments minéraux dans les terres de barre du Togo: conséquences agronomiques**. Paris: Université Paris VI, 1991. 335p. Thesis.
- REICHARDT, K. **Processos de transferências no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 486p.
- REYNIERS, F.N., TRUONG, B., JACQUINOT, L. et al. R. Breeding for drought resistance in dryland rice. In: DROUGHT resistance in crops with emphasis in rice. Los Baños: International Rice Research Institute, 1982. p.273-292.
- ROBINSON, G., JACKSON, M. Expert systems in map design. **Proceedings of AutoCarto**, v.7, n.430-439, 1985.
- SANS, L.M.A., GOODWIN, J.B. Seleção de época de plantio para minimizar o efeito do veranico para a cultura do milho. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 11,1976, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: USP-ESALQ, 1978. p.537-547.
- SARVASI, F.O.C., VIEIRA, S.R., CASTRO, O.M. et. al. Curva de retenção de água, por tensiometria, para dois solos da região de Alfenas (MG). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, n.6, p.893-900,1992.
- SEDIYAMA, G.C. **Necessidade de água para os cultivos**. Brasília: ABEAS, 1987. 143p.
- SÉGUY, L., KLUTHCOUSKI, J., SILVA, J.G. et. al. **Efeitos na fertilidade e conservação de água**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1984. 26p. (EMBRAPA-CNPAF. Circular Técnica, 17).
- SILVA, F.A.M. da. **Estimativa da variação espaço temporal da disponibilidade hídrica decendial no estado de Goiás**. São Carlos: USP, 1995. 139p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Florestal). Universidade de São Carlos, 1995.
- SILVA, S.C., ASSAD, E.D., SANO, E.E. et al. **Zoneamento agroclimático para o arroz de sequeiro no Estado de Goiás**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994.
- SMITH, T., PEUQUET, D., MENON, S. et. al. a knowledge-based geographical information system. **International Journal of Geographical Information Systems**, v.1, n.2, p.149-172, 1987.

- STEINMETZ, S., REYNIERS, F.N., FOREST, F. Evaluation of the climatic risk on upland rice in Brazil. In: COLLOQUE "RESISTANCE A LA RECHERCHES EN MILLIEN INTERTROPICAL: QUELLES RECHERCHES AND YIELD POUR LE MOYEN TERME?", 1984, Dakar. **Proceedings**. Paris: CIRAD, 1985. p.43-54.
- STONE, L.F. **Produtividade e utilização do nitrogênio pelo arroz (*Oryza sativa* L.)**: efeito de deficiência hídrica, cultivares e vermiculita. Piracicaba: USP-ESALQ, 1982. 200p. Tese (Doutorado em Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1982.
- STONE, L.F., STEINMETZ, S., SANTOS, A.B. Manejo do solo e da cultura para minimizar o efeito de deficiência hídrica na produtividade do arroz de sequeiro. **Informe Agropecuário**, v.10, n.114, p.33-38, 1984.
- STONE, L.F., SANTOS, A.B., STEINMETZ, S. Influência de práticas culturais na capacidade de retenção de água no solo e no rendimento do arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.15, n.1, p.63-68, 1980.
- STONE, L.F., SILVEIRA, P.M. **Determinação da evapotranspiração para fins de irrigação**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1995. 49p. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 55).
- STONE, L.F., PEREIRA, A.L. Sucessão arroz-feijão irrigados por aspersão: efeitos de espaçamento entre linhas, adubação e cultivar no crescimento, desenvolvimento radicular e consumo de água do arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.10, p.1577-1592, 1994.
- SUTCLIFFE, J.P. **As plantas e a água**. São Paulo: EDUSP, 1980. 126p.
- TOMLINSON, R.F. (Ed.). **Geographical Data Handling**. Ottawa: Commission on Geographical Data Sensing and Processing, 1972. 29p.
- VAKSMANN, M. **Modèle Bipode**. Bamako: Logiciel IRAT, 1990. 39p.
- VERGARA, B.S. Plant growth and development. In: RICE production manual. Philippines, University of Philippines-College of Agriculture/International Rice Research Institute, 1970. p.17-37.
- VERGARA, B.S., CHANG, T.T., LILIS, R. **The flowering response of the rice plant to photoperiod**: a review of literature. Los Baños: International Rice Research Institute, 1969. 75p.
- VITEK, J.D., WALSH, S.J., GREGORY, M.S. Accuracy in geographic information system: an assessment of inherent and operational errors. In: PECORA SYMPOSIUM, 9., 1984, **Proceedings**. p.296-302.

YOSHIDA, S., PARAO, F.T. Climatic influence on yield components of lowland rice in the tropics. In: SYMPOSIUM ON CLIMATE & RICE, 1974, Los Baños. **Proceedings**. Los Baños: IRRI, 1976. p.471-494.

WALSH, S.J., LIGHTFOOT, D.R., BUTLER, D.R. Assessment of inherent and operational errors in Geographic Information Systems. In: CONGRESS ON SURVEYING AND MAPPING, 5, 1987, Maryland. **Proceedings**. Maryland, s.n., 1987. p.24-25.

