



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

MAPAS DE APTIDÃO AGRÍCOLA PARA AUXÍLIO À POLÍTICA AGRÍCOLA BRASILEIRA

Cleverton Tiago Carneiro de Santana

Monografia apresentada ao curso de
Introdução ao Geoprocessamento –
SER 300, como requisito parcial a
aprovação no curso, sob orientação
do Dr. Antônio Miguel Vieira
Monteiro.

INPE
São José dos Campos
2021

RESUMO

Projeções indicam um crescente aumento da demanda por alimentos. Além disso, é fundamental que a produção de alimentos seja pautada pela sustentabilidade ambiental, ou seja, deve haver maior investimento no ganho de produtividade do que no aumento de área. O uso do solo e ocupação do solo é um desafio, sobretudo no Brasil, um país com dimensões continentais. Para construir uma conscientização sustentável em relação ao uso é necessária uma análise do uso agrícola do solo brasileiros e a política agrícola pode ser um importante instrumento para contribuir na gestão territorial. Por se tratar de áreas extensas e de alta variabilidade, a melhor forma de analisar é através de inferência geográfica a partir de técnicas de geoprocessamento que têm resultado em grande eficácia e assim, auxiliar na tomada de decisão do planejamento da política agrícola do país com intuito de auxiliar na resolução do problema e melhorar o uso e ocupação do solo no país. Através do Processo Hierárquico Analítico (*Analytic Hierarchy Process* – AHP) foi realizada uma análise de adequação do uso agrícola do solo no Mato Grosso do Sul, demonstrando que a análise de um conjunto de dados específicos de uma região permite a inferência geográfica de forma rápida e eficaz. A aplicação dos procedimentos de geoprocessamento permitiu atingir o objetivo proposto e a análise multicritério mostrou-se eficaz para a classificação da aptidão agrícola. Assim, mapas de aptidão agrícola podem auxiliar na tomada de decisão para a gestão territorial. A política agrícola brasileira deve utilizar ferramentas modernas e eficazes para garantir a segurança alimentar e colaborar com a preservação ambiental.

Palavras-chave: Geoprocessamento. AHP. Solo. Aptidão. Agrícola.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	4
2 OBJETIVO	5
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	5
3.1 Área de estudo.....	5
3.2 Fonte e classificação de dados	6
3.3 Solos	8
3.4 Declividade.....	9
3.5 Clima.....	11
3.6 Vegetação	13
3.7 Processamento dos dados.....	14
3.8 Aptidão agrícola	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5 CONCLUSÕES.....	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

1 INTRODUÇÃO

Projeções da ONU (2019) indicam crescimento acelerado da população mundial e, por consequência, aumento da demanda por alimentos. O crescimento da renda também deve se fator determinante para esse aumento. Aliado a isso, a questão ambiental tem tido cada vez mais importância no contexto internacional.

A expansão de fronteira agrícola é restrita e concentrada em algumas regiões e algumas projeções indicam que o Brasil deve ser responsável por maior parte do aumento da oferta de alimentos nos próximos anos (FAO, 2013). É um fato que isso deve criar uma maior pressão pelo uso do solo destinado à agricultura, sobretudo em áreas de pastagens, como tem acontecido nos últimos anos. Isso pode criar uma pressão por novas áreas destinadas à agropecuária (agricultura, pecuária e silvicultura).

É necessário, portanto, que a produção de alimentos leve em consideração a sustentabilidade ambiental, ou seja, o investimento deve ser focado no aumento de produtividade nas áreas já disponíveis para produção agropecuária. Assim, é extremamente importante uma gestão territorial eficiente para o país.

A análise do solo é de fundamental importância para o uso racional dos recursos naturais pela agricultura. A classificação através de mapas de aptidão agrícola permite a gestão territorial, uma vez que torna possível a associação do recurso natural com a produtividade (VALLADARES et al., 2007). Esse tipo de inferência é possível através do geoprocessamento.

O geoprocessamento é uma tecnologia de custo relativamente baixo e que permite a possibilidade de suprir a organização do conhecimento adquirido, utilizando técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de um conjunto de dados (BOEMO, 2011).

A compreensão dos fenômenos ocorridos no espaço a partir de um conjunto de dados é um grande desafio atual. Estudos dessa natureza tem sido cada vez mais comum pelo aumento da disponibilidade de sistemas de informação geográfica (SIG).

2 OBJETIVO

Avaliar o uso de mapas de aptidão agrícola do Mato Grosso do Sul para subsidiar as decisões da política agrícola nacional na indução do crescimento sustentável da produção agropecuária empresarial, respeitando a legislação ambiental vigente e sem a necessidade de converter áreas de vegetação nativa em produção agrícola.

3. MATERIAL E MÉTODOS

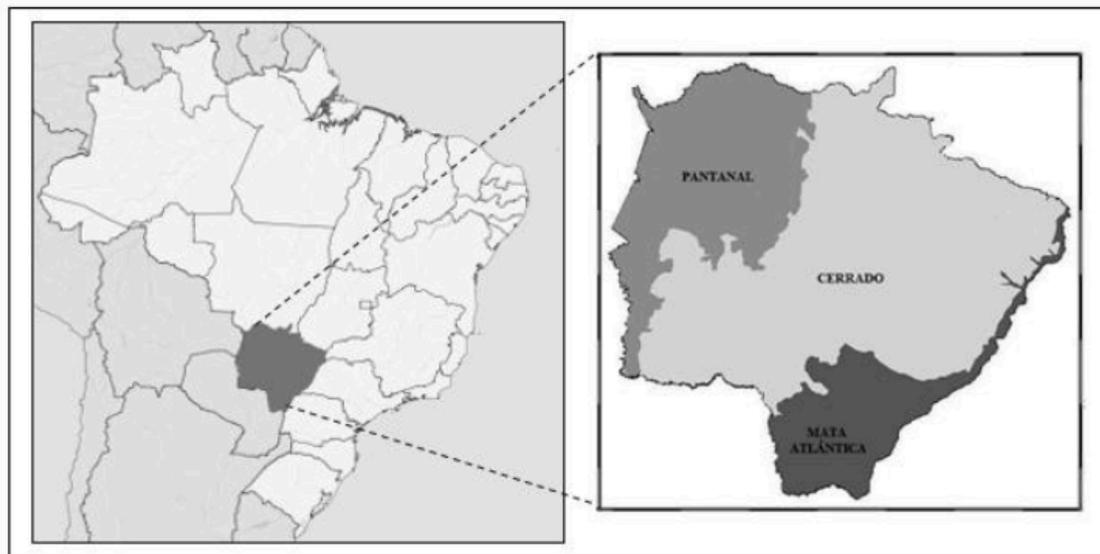
3.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado para o Mato Grosso do Sul que está localizado na Região Centro-Oeste do Brasil, é o sexto maior estado do país, com área total de 357.146 km², e está situado entre as coordenadas 17° 09' 59" e 18° 02' 30" S e 50° 55' 22" e 58° 10' 07" W (IBGE, 2010).

O estado apresenta em toda a sua área os biomas Cerrado, Pantanal e Mata Atlântica (Figura 3.1). No bioma Cerrado estão distribuídas as formações vegetais remanescentes Savana, Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 2019).

A área em estudo possui 79 municípios, tendo como divisa Mato Grosso ao norte, Goiás à nordeste, Minas Gerais e São Paulo à Leste e Paraná à sudeste (Figura 3.1). O estado possui 71.164 estabelecimentos agropecuários, totalizando 30,5 milhões de ha, sendo 60% de pastagens, 24% de florestas, 12% de lavouras e 4% de outros usos (IBGE, 2017). O estado é caracterizado por uma ampla produção agrícola e pecuária, sendo a sua base econômica a produção de bioenergia, fibras e alimentos, basicamente oriundos da soja, cana-de-açúcar, milho, carne e floresta plantada (KICHEL *et al.*, 2011).

Figura 3.1 – Mapa de localização e biomas do Mato Grosso do Sul.



Fonte: Ivasko Júnior et al. (2020).

O Mato Grosso do Sul apresenta níveis baixos de altitude na região do Pantanal, localizado na faixa oeste do estado, ao passo que as demais regiões apresentam altitudes médias que oscilam de 300 a 600 m (ZAVATTINI, 2009), com exceção de uma área no extremo norte do estado em que os picos de altitude ultrapassam os 600 metros.

3.2 Fonte e classificação de dados

Para a montagem dos mapas temáticos foi utilizado a Projeção UTM e o Sistema de Coordenadas Geográficas Datum SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas). As bases de dados utilizadas estão discriminadas na Tabela 3.1, através dos quais, utilizando-se do Software QGIS 3.4.10, foi possível a elaboração do mapa de aptidão agrícola.

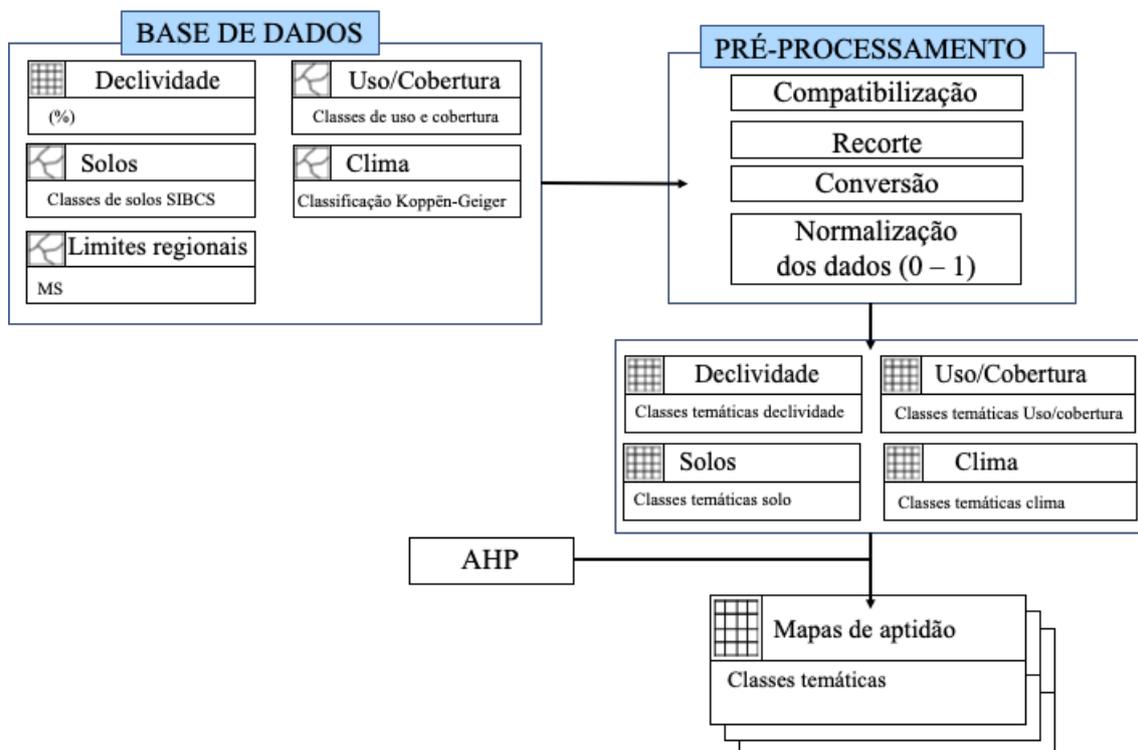
Tabela 3.1 – Fonte dos dados cartográficos

Fonte	Dados	Formato
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)	Limites político administrativos	Geobjeto (polígonos)
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)	Solos	Geocampo
Serviço Geológico do Brasil (CPRM)	Declividade	Geobjeto (polígonos)
Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas)	Uso e Cobertura do Solo	Geobjeto (polígonos)
Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF)	Clima	Geobjeto (polígonos)

Fonte: Autor.

Neste estudo, foram considerados como fatores à aptidão agrícola o solo (tipos), declividade (índices), clima (classes) e vegetação (uso e cobertura do solo). O diagrama OMT-G abaixo foi utilizada para nortear a execução deste trabalho, demonstrando os passos que deviam ser seguidos para obtenção dos resultados almejados.

Figura 3.2 Diagrama *Object Modeling Technique for Geographic* (OMT-G).

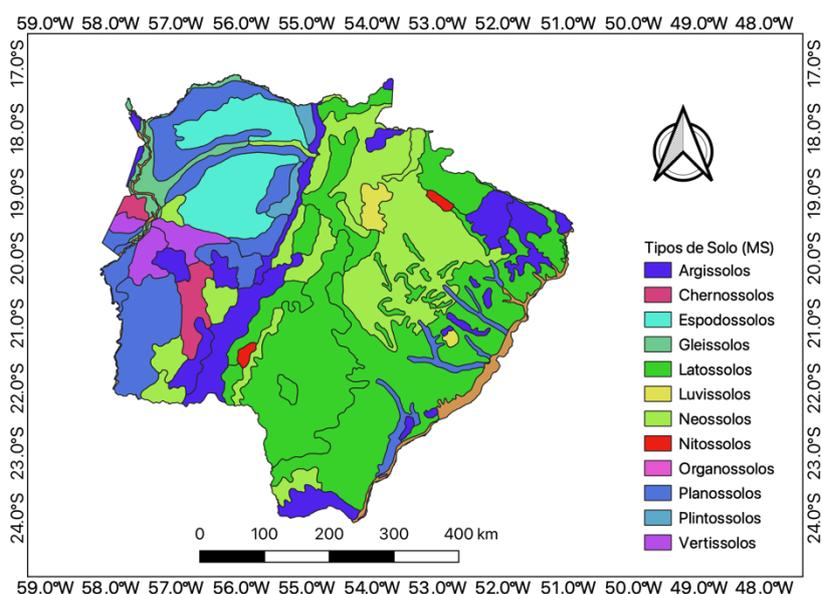


Fonte: Autor.

3.3 Solos

Entre os 28 tipos de solo identificados no Mato Grosso do Sul, os de maior ocorrência são os Latossolos, Espodossolos, Planossolos, Gleissolos. A classe dominante é a dos Argissolos e Latossolos, em relevo pouco declivoso. As definições de classes que se seguem foi realizada de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Embrapa, 2018)

Figura 3.3 – Principais ordens de solo do Mato Grosso do Sul.



Fonte: Autor, com dados da Embrapa (2018).

A expansão de áreas agrícolas tem aumentado a pressão por novas áreas a serem destinadas a produção agrícola. Aliado a isso, as mudanças a localização espacial das culturas e a intensificação do uso do solo são responsáveis pela degradação ambiental, caso não sejam respeitados o potencial e a limitação da capacidade produtiva dos solos (QUARTAROLI et al., 2006).

O comprometimento de mananciais de água, a degradação de ambientes naturais, erosões, enchentes e assoreamento dos rios é reflexo do uso inapropriado do solo e tem relação direta com a má gestão territorial do país (LEITE et al., 2012).

Todos os tipos de solos encontrados na área de estudo foram rotulados com classes de adequação de acordo com a aptidão agrícola recomendada por Zaroni e Santos (2013).

Tabela 3.2 – Tipos de solo, valores, classes de adequação e área.

Tipos de Solo	Valores de Adequação	Classes de Adequação	Área de Abrangência (%)
Chernossolos	1	Alta	4,6
Latosolos	2	Potencial	21,9
Argissolos	2	Potencial	26,3
Luvissolos	2	Potencial	2,2
Vertissolos	2	Potencial	5,1
Gleissolos	3	Média	7,8
Planossolos	4	Baixa	8,4
Nitossolos	5	Limitado	4,9
Organossolos	5	Limitado	0,0
Plintossolos	5	Limitado	1,2
Espodossolos	6	Restrito	11,2
Neossolos	6	Restrito	6,3

Fonte: Autor, adaptado de Zaroni e Santos (2013).

3.4 Declividade

Para construção do mapa de declividade neste estudo foram utilizadas informações obtidas do banco de dados geográficos do Mato Grosso do Sul do Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

O produto utilizado foi usado elaborado usando o mosaico de imagem SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução de 30 metros, como dado de base. A classificação da declividade das formas de declividade adotada foi realizado conforme critérios de Santos et al (2018), constante na Tabela 3.3. O georreferenciamento foi efetuado no sistema de coordenadas geográficas DATUM WGS84.

Tabela 3.3 – Classes de declividade e área de abrangência.

Classes de Declividade	Declividade (%)	Área (%)
Plano	0 – 3%	56,7
Suave ondulado	3 – 8%	36,7
Ondulado	8 – 20%	5,4
Forte ondulado	20 – 45%	1,2
Montanhoso	45 – 75%	0,0
Escarpado	> 75%	0,0

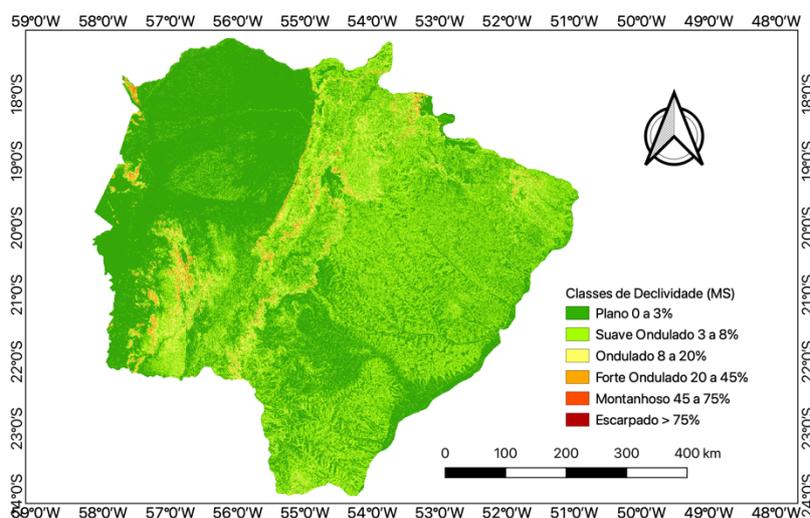
Fonte: Autor, conforme critérios de Santos et al (2018).

Tabela 3.4 – Classes de declividade, valores e classes de adequação.

Classes de Declividade (%)	Valores de Adequação	Classes de Adequação
0 – 3%	1	Alta
3 – 8%	2	Média
8 – 20%	3	Baixa
20 – 45%	4	Muito Baixo
45 – 75%	5	Restrito
> 75%	6	Nulo

Fonte: Autor, conforme critérios de Santos et al (2018).

Figura 3.4 – Mapa de declividade do Mato Grosso do Sul.



Fonte: Autor, com dados do CPRM (2021).

3.5 Clima

As temperaturas da região do planalto sul-mato-grossense apresentam médias anuais elevadas e relativamente uniformes, variando de 18,7°C (junho) a 25,2°C (janeiro). Já as médias de precipitação apresentam variações mais acentuadas, variando de 47,8 mm (julho) a 213,4 mm (dezembro), conforme estudo realizado por Zavattini (2009).

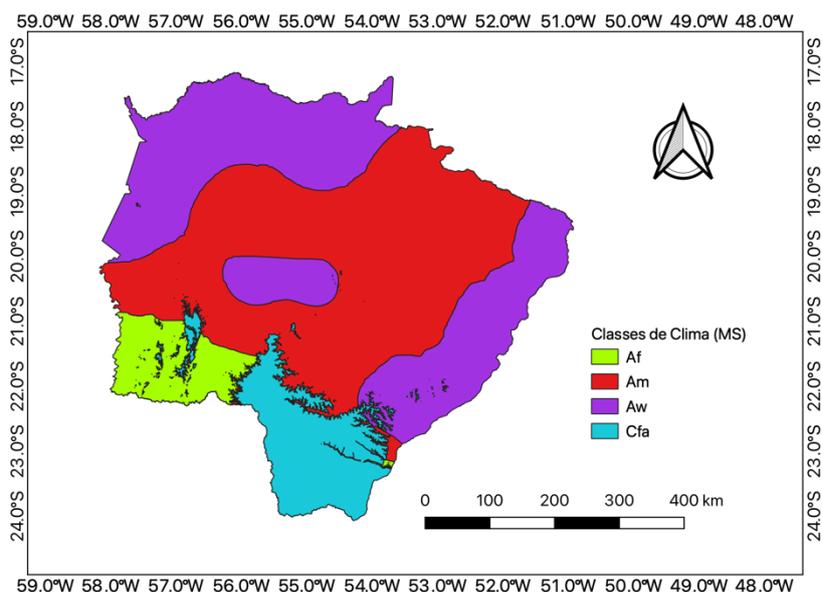
Há duas estações climáticas bem definidas no estado, sendo uma seca (abril a setembro) e outra chuvosa (outubro a março). A análise dos dados meteorológicos indica que esta última estação é responsável por quase 70% do total anual de precipitação (IVASKO JÚNIOR et al., 2020).

As classes de clima foram determinadas pelo sistema de classificação Köppen-Geiger (ALVARES et al., 2013). Três zonas climáticas e 12 classes de climas foram classificadas em todo o Brasil. No Mato Grosso do Sul estão presentes 4 classes de clima (Af, Am, Aw e Cfa) de duas zonas climáticas (A e C).

O clima Af é encontrado em 22,6% do território brasileiro, como no sudoeste de Mato Grosso do Sul (planícies tropicais e úmidas brasileiras) (ROSS, 2011). Nessa região, que corresponde ao sul do Pantanal, o clima Af foi identificado, com sua ocorrência sempre em altitudes inferiores a 400 m precipitação anual entre 1.400 e 1.800 mm. O clima Am é encontrado em cerca de 27,5% do território brasileiro, sendo o clima mais representativo do país. Uma grande área do clima Am foi mapeada no oeste de Mato Grosso do Sul, no baixo Pantanal, onde a precipitação anual está entre 1.300 e 1.600 mm, e na região central do estado (região de Dourados) onde a precipitação é ligeiramente mais elevada, variando de 1.600 a 1.900 mm ano⁻¹. O clima Aw cobre uma ampla área no Brasil (25,8% de seu território) e foi observado ao sul de Mato Grosso do Sul (ALVARES et al., 2013).

O clima Cfa cobre 6,5% do território brasileiro, principalmente nos estados do sul. O mapa climático atual mostra o clima Cfa na parte no sul do Mato Grosso do Sul (SPAROVEK et al., 2007). Esse tipo de clima também foi observado nas terras altas do Pantanal, acima de 900 m de altitude, região classificada como serras remanescentes do alto rio Paraguai (ROSS, 2011).

Figura 3.5 Classificação climática de Köppen para o Mato Grosso do Sul.



Fonte: Autor, conforme critérios de Alvares et al., (2013).

As classes de clima foram reclassificadas por ordem de adequação para realização da análise proposta neste trabalho.

Tabela 3.5 – Classes de clima, valores, classes de adequação e área.

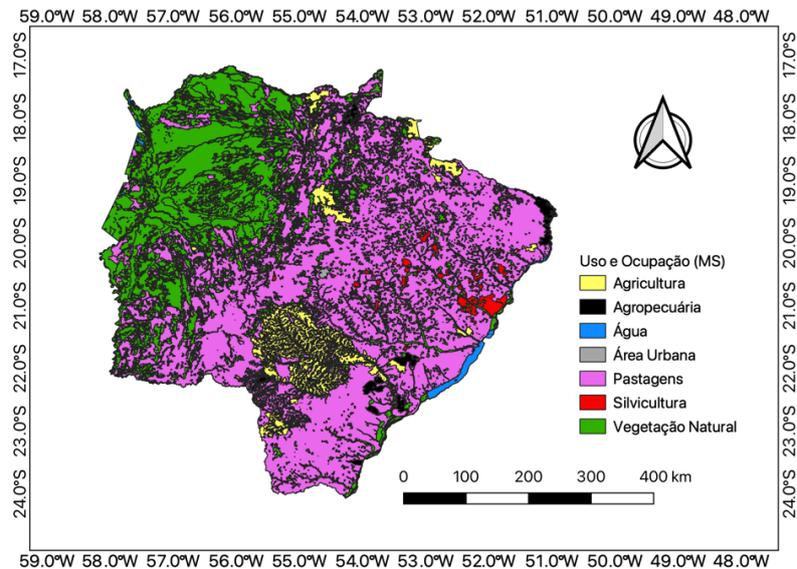
Classes de clima	Valores de Adequação	Classes de Adequação	Área de Abrangência (%)
Cfa	1	Alta	19,0
Am	2	Média	9,5
Aw	3	Baixa	57,1
Af	5	Restrito	14,3

Fonte: Autor, conforme critérios de Alvares et al., (2013).

3.6 Vegetação

Com o banco de dados do MapBiomas (2019) foi elaborado um mapa de uso do solo para o estado (Figura 3.6) dividido em sete categorias: Água, Vegetação Natural, Área Urbana, Silvicultura, Pastagens, Agropecuária e Agricultura.

Figura 3.6 – Uso e Cobertura do Solo do Mato Grosso do Sul.



Fonte: Autor, com dados do MapBiomas (2019).

As classes de vegetação também foram reclassificadas de acordo com a adequação de cada uma para o uso agrícola. Áreas que já possuem agricultura foram consideradas as mais adequadas para o uso agrícola, seguido das áreas com agropecuária (integração), pastagens e silvicultura.

Com o intuito de construir uma gestão territorial eficiente e restritiva, para esse trabalho foi definido que as áreas de vegetação natural teriam valor nulo, ou seja, não seria consideração como uma opção para o uso agrícola. Áreas urbanas e água também tiveram valor nulo nessa classificação, pela impossibilidade para o uso agrícola no contexto da agricultura empresarial.

Tabela 3.6 – Classes de vegetação, valores, classes de adequação e área.

Classes de vegetação	Valores de Adequação	Classes de Adequação	Área de Abrangência (%)
Agricultura	1	Alta	2,3
Agropecuária	2	Média	2,3
Pastagens	3	Baixa	16,8
Silvicultura	4	Restrito	4,2
Área Urbana	6	Nulo	0,2
Vegetação Natural	6	Nulo	74%
Água	6	Nulo	0

Fonte: Autor, conforme classes do MapBiomas (2019).

3.7 Aptidão agrícola

A aptidão agrícola de áreas é um importante instrumento metodológico para a avaliação do uso do solo. Esse método tem sido empregado na interpretação de levantamentos pedológicos, com diferentes níveis, possibilita a avaliação das potencialidades dos solos brasileiro, bem como pode subsidiar a política agrícola, a preservação ambiental e o crescimento sustentável (PEREIRA E LOMBARDI NETO, 2004).

A avaliação da aptidão agrícola dos solos é um procedimento metodológico de interpretação baseado em resultados de levantamentos sistemáticos realizados com o suporte de diversos atributos relacionados com o sistema terrestre, tais como solo, clima, vegetação, geomorfologia, entre outros (RAMALHO FILHO e BEEK, 1995). Esses autores também afirmam que ela é adaptativa em função da tecnologia predominante na época de sua realização, pois se trata de um processo interpretativo e temporário, podendo sofrer variações com a desenvolvimento tecnológico.

Para o mapa de aptidão agrícola, foi utilizado como base o tipo de solo, declividade, a classe de clima e a vegetação (uso e ocupação do solo). Há diversas classificações técnicas para realizar esse tipo de análise, mas optou-se por esse método pela a) maior utilização ao nível nacional; b) permite seu ajustes frente à novos conhecimentos; c) aceita adaptações e aplicações em diferentes

escalas de mapeamento; d) se necessário, considera limitação pelo uso de capital e tecnologia, distinguindo o pequeno e o grande produtor rural.

A avaliação da aptidão agrícola das terras da área de estudo foi efetuada a partir de uma adaptação do Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (SAAT) proposto por Ramalho Filho e Beek (1995). Os grupos de aptidão 1, 2 e 3, 4 e 5 foram definidos para Alta, Média, Baixa, Restrita e Inapta. No grupo 1 concentra-se áreas cujo uso mais intensivo é a lavoura. O grupo 2 representa terras cujo tipo de uso mais intensivo é a pastagem plantada, enquanto o grupo 3 limita-se à silvicultura e pastagem natural. O grupo 4 abrange áreas de terras consideradas restritas para qualquer uma das atividades agrícolas citadas, estando sua ocupação condicionada à preservação da fauna e da flora. O grupo 5 são os corpos d'água e alta declividade.

- Classe Alta – terras sem limitações significativas para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização, observando às condições do manejo considerado;
- Classe Média – terras que apresentam limitações moderadas para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização, observando as condições de manejo considerado;
- Classe Baixa – terras que apresentam limitações fortes para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização;
- Classe Restrita – terras que apresentam condições que parece excluir a produção sustentada do tipo de utilização em questão e tem como alternativa a preservação ambiental, extrativismo ou algum outro uso não agrícola;
- Classe Inapta - terras consideradas inaptas para os diversos usos (lavouras, pastagem plantada, silvicultura e pastagem natural), têm como alternativa a preservação ambiental, extrativismo ou algum outro uso não agrícola.

O SAAT permite considerar diversos fatores e ajuda a atender a realidade agrícola brasileira (SCHNEIDER *et al.*, 2007), permitindo a introdução de outros fatores limitantes, conforme o nível de estudo venha exigir (RAMALHO FILHO e BEEK, 1995).

3.8 Processamento dos dados

Os mapas processados estavam no Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) EPSG:4326 e Datum WGS 84. Todos os mapas que estavam no formato shapefile ou geobjeto foram convertidos para raster ou geobjeto, normalizados para valores entre 0 e 1, pois, conforme a metodologia aplicada, o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) só é possível quando todos os fatores estão no mesmo formato de arquivo ou representação.

Para produção do mapa de aptidão agrícola do Mato Grosso do Sul foi utilizado o processo de Análise Multicritério designado como Processo Hierárquico Analítico (*Analytic Hierarchy Process – AHP*), uma metodologia desenvolvida por Saaty (1980). Após a padronização dos fatores a próxima etapa consistiu em ponderar a influência de cada um no mapa de aptidão agrícola.

Cada um dos fatores foi avaliado como tendo uma relevância distinta ao objetivo (mapeamento da aptidão agrícola). Segundo Silva et al. (2004), o processo da determinação da ponderação dos fatores desenvolve-se ao longo de sete etapas, sendo elas:

A primeira etapa consiste na construção da matriz de comparação para par. Para a sua construção a ponderação foi realizada utilizando-se uma matriz de comparação pareada, onde cada célula é preenchida com um valor de julgamento que expressa a importância relativa entre pares de critérios (Tabela 3.8).

Tabela 3.8 – Valores de julgamento da importância relativa

Valor do peso ou da importância	Definição do peso ou da importância
1	Igual
2	Um pouco melhor
3	Algo Melhor
4	Moderadamente Melhor
5	Melhor
6	Bem Melhor
7	Muito Melhor
8	Criticamente Melhor
9	Absolutamente Melhor

Fonte: Saaty (1977, 1987).

Seguindo a metodologia AHP, esse procedimento foi realizado por meio do SIG, onde os fatores são confrontados par-a-par para a determinação da importância relativa entre eles (Tabela 3.9). Estabeleceu-se, assim, uma matriz quadrada de ordem n, onde n representa o número de fatores (BARROS et al., 2019).

Tabela 3.9 – Matriz de comparação pareada

Fatores	Uso/Cobertura	Declividade	Solos	Clima	Pesos
Uso/Cobertura	1	3	7	9	0,548
Declividade	1/3	1	4	6	0,310
Solos	1/7	1/3	1	2	0,093
Clima	1/9	1/7	1/3	1	0,049
$\lambda_{\text{máx}}^1 = 4,047$		$CI^2 = 0,0155$		$CR^4 = 0,0174$	

Legenda: (1) Autovalor; (2) índice de Consistência; (3) Razão de consistência;

Fonte: Autor, conforme critérios de Saaty (1977, 1987).

Após o preenchimento da matriz, a segunda etapa realizada é o cálculo do vetor de peso principal empregando a equação (Equação 3.1) proposta por Silva et al. (2004), a fim de calcular o vetor de pesos w, onde para cada fator n foi obtido um peso w.

$$w_i = \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} / \sum_{k=1}^n \left[\left(\prod_{j=1}^n a_{kj} \right)^{\frac{1}{n}} \right] \quad (3.1)$$

Nessa equação w_i representa o peso para o fator i e n é o número de fatores.

Na terceira etapa é realizado o cálculo do vetor de pesos (Equação 3.2) para realizado o cálculo do autovalor máximo ($\lambda_{\text{máx}}$) para a Matriz (SILVA et al., 2004). Segundo Saaty (1987), o cálculo do autovalor máximo deve ser maior ou igual a n para uma matriz recíproca e positiva.

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{1}{n} \left(\frac{w'_1}{w_1} + \frac{w'_2}{w_2} + \dots + \frac{w'_n}{w_n} \right) \quad (3.2)$$

Nessa equação, os valores de w' são resultados da multiplicação da matriz $A = [a_{ij}]$ pelo vetor de pesos w (Equação 3.3) (SILVA et al., 2004).

$$w' = A \cdot w \quad (3.3)$$

Para obter o grau de consistência (CI – *Consistency Index*), na quarta etapa, com que a matriz de comparação pareada foi preenchida utiliza-se a Equação 3.4 (SAATY, 1977).

$$CI = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (3.4)$$

Após calcular o valor do CI, na sexta é possível calcular a Razão de Consistência (CR – *Consistency Ratio*) (Equação 3.5), que associa o valor de CI com um Índice de Aleatoriedade (RI - *Random Index*) (quinta etapa), obtido por meio do Tabela 3.10, proposta por Saaty (1987). A razão de consistência da matriz indica a probabilidade que as avaliações da matriz foram geradas aleatoriamente e deve ser menor que 0,1 que indica consistência nas notas atribuídas (SAATY E VARGAS, 1991).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.5)$$

Tabela 3.10 – Índice de aleatoriedade (RI) para o número de variáveis (n).

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (1987).

Por fim, a sétima e última etapa consiste em uma eventual reavaliação da matriz de comparação, caso seja necessário. De forma geral, o mapa de aptidão agrícola pelo método AHP pode ser descrito conforme a Equação 3.6.

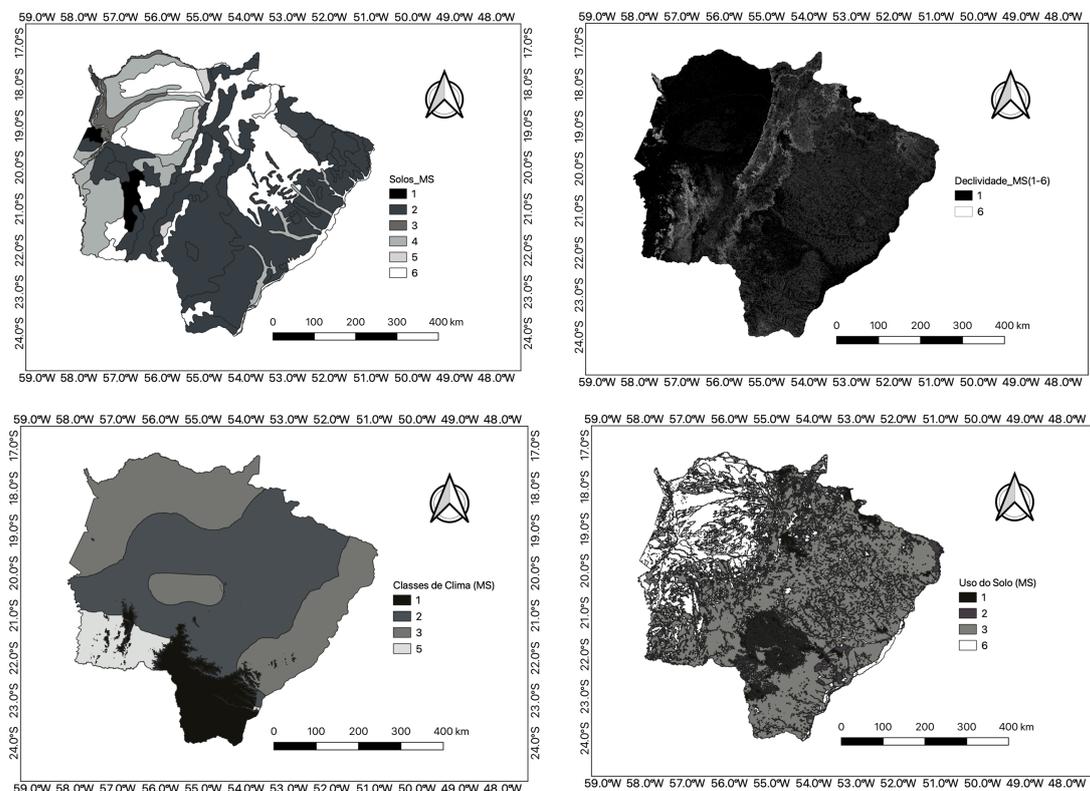
$$MAG_{ahp} = \sum_{i=1}^n P_i \times w_i \quad (3.6)$$

Nessa equação, P_i é o plano de informação do fator 'i' e ' w_i ' é o peso atribuído por meio do processo AHP, ao fator 'i'.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O levantamento de uso e cobertura do solo é fundamental para a gestão territorial e suprir carências de informações para tomada de decisão do poder público a fim de mitigar os problemas de desenvolvimento descontrolado e de deterioração da qualidade ambiental. Em virtude da qualidade da informação e do objetivo de permitir um crescimento sustentável, optou-se por tornar esse fator mais importante na análise dos dados. Entende-se que, as áreas que já possuem agropecuária, em geral, são mais aptas para o cultivo agrícola.

Figura 4.1 – Classes de aptidão agrícola para os fatores utilizados no modelo para o Mato Grosso do Sul.



Fonte: Autor

O Mato Grosso do Sul possui grandes extensões de área planas, com baixa declividade, o que favorece a mecanização agrícola, sobretudo em grandes culturas que necessitam de grandes operações de manejo. Segundo Pereira (2002), terras acima de 20% de declividade são inadequadas para mecanização em qualquer época do ano e, na área de estudo, apenas 1,2% dos solos encontram-se nessa condição. Por esta razão, a declividade foi o segundo fator

nomeado na matriz de cooperação pareada, visto que sua influência seria pouco restritiva no mapa de aptidão agrícola.

Em relação aos tipos de solos, o Mato Grosso do Sul tem predominância de Argissolos e Latossolos e, que correspondem a 21,9 e 26,3% da área de abrangência, respectivamente. Os Argissolos de maior fertilidade natural e, em relevos mais suaves, apresentam maior potencial para uso agrícola. Suas limitações estão mais relacionadas a baixa fertilidade, mas que podem ser corrigidos com adubação adequada (ZARONI E SANTOS, 2013).

Já os Latossolos são identificados em extensas áreas nas regiões Centro-Oeste, sendo responsáveis por grande parte da produção de grãos do país, pois incidem predominantemente em áreas de relevo plano e suave ondulado, propiciando a mecanização agrícola (AGEITEC, 2017).

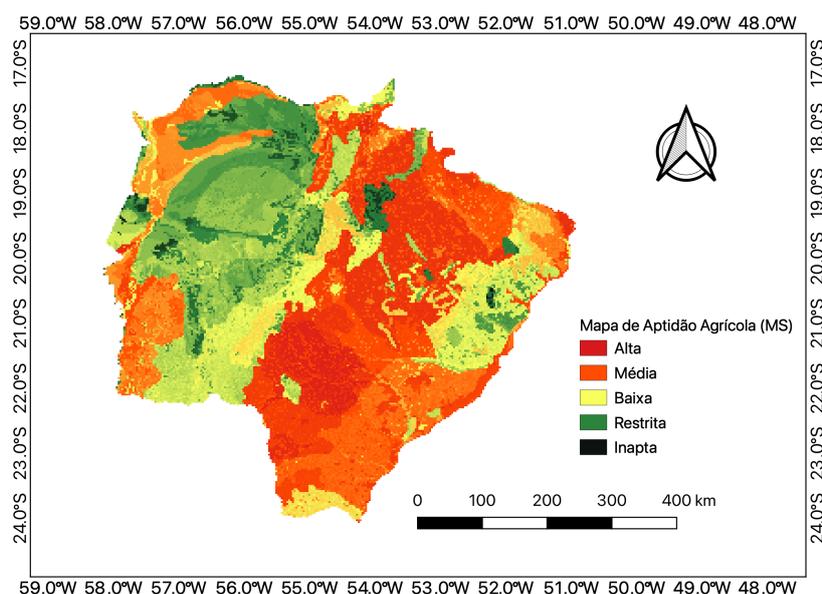
Os Espodosolos são o terceiro tipo mais encontrado na área de estudo e normalmente não apresentam aptidão agrícola, sendo indicados para áreas de conservação ambiental. Na classe de adequação, esse solo recebeu nota 6 pela sua alta restrição à aptidão agrícola. Junto com os Neossolos, os Espodosolos são responsáveis por 17,5% da restrição aplicado na área de estudo.

Em relação as classes de clima presentes na região, o clima mais indicado a produção agrícola está concentrado na porção sul do estado, próxima a divisa do Paraná e São Paulo, onde as temperaturas são mais amenas (Figura 3.5).

O valor de $\lambda_{\text{máx}}$ foi de 4,047, sendo este maior que o número de fatores ($n = 4$). O valor de CR foi de 0,017(valor inferior a 0,1), indicando que a matriz de comparação pareada foi preenchida de maneira aleatória, não necessitando a sua reestruturação (SAATY, 1987).

As classes de aptidão agrícola foram divididas em cinco categorias, sendo classificadas em alta, média, baixa e restrita e inapta. Os resultados estão apresentados na Figura 4.1. Para melhores análises dos dados, as áreas ocupadas por cada classe os dados estão representados na Tabela 4.1.

Figura 4.2 – Mapa de aptidão agrícola do Mato Grosso do Sul.



Fonte: Autor.

Tabela 4.1 – Matriz de comparação pareada

Aptidão Agrícola	Área (ha)	% do total
Alta	5.653,62	15,83
Média	9.957,23	27,88
Baixa	7.457,21	20,88
Restrita	11.442,96	32,04
Inapta	1.203,58	3,37
Total	35.714,6	100

Fonte: Autor, conforme critérios de Ramalho Filho e Beek (1995).

As áreas com alto potencial de aptidão agrícola ocupam 5,65 milhões de ha (15,83%) da área total e representam os locais onde os atributos de declividade, solos e clima são os mais indicados, além de não haver restrição pelo uso e cobertura do solo, enquanto as áreas de média aptidão possuem 9,96 milhões de ha (27,88%).

Isso é importante ponderar que atualmente o Mato Grosso do Sul ocupa 3,65 milhões de hectares com a cultura da soja e da cana-de-açúcar e, se confirmada a projeção do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, haverá um crescimento de área de 1 milhão de hectares no estado com essas culturas.

Assim, as principais culturas devem ocupar cerca de 4,65 milhões de hectares, área menor que os 5,65 milhões de ha com alta aptidão agrícola.

Com a redução das áreas de pastagens do estado, de acordo com o último Censo Agro 2017, é possível afirmar que há um crescimento da produtividade pecuária no estado, visto que o rebanho continua aumentando. Assim, se a tendência de redução de áreas de pastagens, o estado deve ter uma área em torno de 11,5 milhões de ha nos próximos 10 anos. Se somarmos a área de média aptidão agrícola (9,96 milhões de ha) com a área que não seria utilizada com agricultura e possui alta aptidão agrícola (1 milhão de ha), alcançamos uma área que quase supre a necessidade da pecuária (10,96 milhões de ha), restando 0,54 milhão de ha que devem ocupar áreas de baixa aptidão agrícola.

Por fim, se o crescimento da área destinada a silvicultura seguir a média de crescimento dos últimos 5 anos, esta atividade deve ocupar 1,8 milhão de ha do estado nos próximos 10 anos, valor que corresponde a 24% da área com baixa aptidão agrícola.

É possível afirmar que haverá áreas disponíveis para a produção agrícola nos próximos 10 anos a necessidade de abertura de novas áreas, cumprindo a legislação vigente e sem haver supressão de áreas de preservação.

As informações geradas permitiram concluir que a produção agrícola se concentra nas regiões com maior aptidão agrícola do estado, com predomínio para agricultura nas áreas de alta aptidão e com as pastagens (com possível predomínio de pecuária extensiva) se estendendo por áreas de média e baixa.

A classe de uso restrita representa 32,04% do estado. Há duas ocorrências principais, a primeira mais relevante, está localizada no bioma Pantanal. A segunda está na porção leste do estado, próxima à região produtora silvícola. Por fim, a classe de uso inapta corresponde a 3,37% do estado.

Por fim, há limitações de aplicação do método, uma vez que simplifica em excesso as características do estado. Uma alternativa seria aplicar em menores áreas por exemplo, ou aumenta os níveis de adequação. Segundo Grandzol (2005), está é uma das limitações do método, a sua aplicação inadequada, isto é, em análises onde a aplicação é percebida como simplificação excessiva da realidade.

5 CONCLUSÕES

A aplicação dos procedimentos de geoprocessamento permitiu a elaboração dos mapas e a realização da análise multicritério em ambiente SIG, que permitiu a criação do mapa final de aptidão agrícola.

A metodologia aplicada de análise multicritério mostrou-se eficaz para a classificação da aptidão agrícola. O método permitiu garantir que os julgamentos realizados foram coerentes, produzindo resultados mais confiáveis.

A tomada de decisão a partir de mapas de aptidão agrícola pode ser uma importante ferramenta de inferência geográfica para gestão territorial e apoio a política agrícola brasileira.

A política agrícola brasileira deve utilizar ferramentas modernas e eficazes para garantir a segurança alimentar e colaborar com a preservação do meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGEITEC (2017) – Solos Tropicais. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <https://bityli.com/itVQB>. Acesso em 20 de mai. 2021.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil, **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BARROS, A. C.; TAGLIARINI, F. S. N.; GARCIA, Y. M.; MINHONI, R. T. A.; BARROS, Z. X.; ZIMBACK, C. R. L. Mapeamento da aptidão agrícola das terras por meio de análise multicritério. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 295-304, 2019.

BOEMO, D. **Development of geoprocessing systems and mobile technology applied to precision agriculture**. 2011. 118 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 2011.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <https://bityli.com/4vVDs>. Acesso em 15 de abri. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 4. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018. 356 p.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Statistical yearbook 2013 world food and agriculture**. Romep. 307, 2013.

GRANDZOL, J. R. Improving the Faculty Selection Process in Higher Education: a case for the analytic hierarchy process. **IR Applications**, v. 6, 13 p., 2005.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil**: compatível com a escala 1:250.000/IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - Rio de Janeiro: IBGE, 2019. 168 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/2wzsoU0>. Acesso em 15 de mai. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <https://bityli.com/X9I7a>. Acesso em 15 de mai. 2021.

IVASKO JÚNIOR, S.; MASTELLA, A. D. F.; TRES, A.; TETTO, A. F.; WENDLING, W. T.; SOARES, R. V. Classificação do estado de Mato Grosso do Sul segundo sistema de zonas de vida de holdridge. **Revista Brasileira de Climatologia**. v.

26, n. 16, 2020. Disponível em: <https://bityli.com/9tH6N>. Acesso em 11 de mai. 2021.

KICHEL, A. N.; ALMEIDA, R. G.; COSTA, J. A. A.; BALBINO, L. C. Estratégias de recuperação de pastagem por meio de integração lavoura-pecuária-floresta. In: SIMPÓSIO DE PECUÁRIA DE CORTE - SIMPEC, 7., 2011, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2011. p. 315-334.

LEITE, T. A.; NETO, J. O. M.; NASCIMENTO, A. F. J.; CHAGAS, R. M.; JÚNIOR, A. V. M. Delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APP) com uso de geoprocessamento como subsídio à gestão dos recursos hídricos na bacia do Rio Jacaré. In: III Encontro de Recursos Hídricos, 2012, Sergipe. **Anais...** Aracaju, 2012. Artigos, p.34-38. 2012. CD-ROM.

MAPBIOMAS (2019) **Mapas de Uso e Cobertura da Terra**. Disponível em: <https://plataforma.mapbiomas.org/>. Acesso em 5 de mai. 2021

ONU. Organização das Nações Unidas. **World Population Prospect: The 2019 Revision**. Department of Economic and Social Affairs, Population Division, Population Estimates and Projections Section, 2019. 39 p.

PEREIRA, L. C. Aptidão agrícola das terras e sensibilidade ambiental: proposta metodológica. 2002. 122 p. Tese (Doutorado em Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2002.

PEREIRA, L.C.; LOMBARDI NETO, F. **Avaliação da aptidão agrícola das terras**: proposta metodológica. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 36 p.

QUARTAROLI, C. F.; MIRANDA, E. E. de; VALLADARES, G. S.; HOTT, M. C.; CRISCUOLO, C.; GUIMARÃES, M. **Avaliação da adequação do uso das terras agrícolas no Nordeste do Estado de São Paulo em 1988 e 2003**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2006. 36 p.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65 p.

ROSS, J. L. S. **Os fundamentos da geografia da natureza**. – In: ROSS, J.L.S. (Eds.): Geografia do Brasil. 6a ed. – Edusp, São Paulo, 13–65, 2011.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation**. New York: Mcgraw-hill, 1980. 287 p.

SAATY, T. L. The Analytical Hierarchy Process: what it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Prediction, Projection and Forecasting**. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 1991. 251 p.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; KLAMT, E. **Classificação da aptidão agrícola das terras**: um sistema alternativo. Guaíba: Agrolivros, 2007. 70 p.

SPAROVEK, G.; LIER, Q. J. V.; DOURADO NETO, D. Computer assisted Koeppen climate classification: a case study for Brazil. **International Journal of Climatology**. v. 27, p. 257–266, 2007.

SILVA, A. N. R.; RAMOS, R. A. R.; SOUZA, L. C. L.; RODRIGUES, D. S.; MENDES, J. F. G. **SIG**: uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e transportes. São Carlos, 2004. 227 p.

VALLADARES, G. S.; QUARTAROLI, C. F.; HOTT, M. C.; MIRANDA, E. E.; NUNES, R. S.; KLEPKER, D.; LIMA, G. P. Mapeamento da aptidão agrícola das terras do Estado do Maranhão. Campinas: **Embrapa Monitoramento por Satélite**, p. 25, 2007.

ZARONI, M. J. E; SANTOS, H. G. E. **Solos Tropicais**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. 2013. Disponível em: <https://bityli.com/xdm11>. Acesso em: 25 mai de 2021.

ZAVATTINI, J. A. **As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul**: estudo geográfico com vista à regionalização climática. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. 212 p.