

# Zoneamento agroclimático de cultivos com potencial energético no estado de Minas Gerais

Luciano S. dos Reis \*

Ruibran Januário dos Reis \*\*

Daniel Pereira Guimarães \*\*\*

Claudio Homero Ferreira da Silva \*\*\*\*

\* Engenheiro Agrônomo (UFV). Mestre em Engenharia Agrícola (UFV).

\*\* Meteorologista (UFRJ). Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental (UFMG). Doutor em Geografia (PUCMinas). Meteorologista do Clima-Tempo.

\*\*\* Engenheiro Florestal (UFV). Mestre em Engenharia Florestal (UFV). Doutor em Engenharia Florestal (UFV). Pesquisador da Embrapa.

\*\*\*\* Engenheiro Químico (UFU). Mestre em Engenharia Química (UFU). Doutor em Engenharia Química (UFU). Trabalha na CEMIG.

---

**Resumo** O desenvolvimento e a adoção de tecnologias altamente eficientes, visando maximizar a exploração de fontes renováveis de energia limpa, são cruciais para a redução dos impactos ambientais e da quantidade de resíduos secundários. O aumento da eficiência nos processos assegura a sustentabilidade do suprimento de energia, tendo por base os níveis atuais e futuros das demandas econômicas e sociais. O presente estudo realiza uma análise exploratória a partir do zoneamento agroclimático das principais culturas agrícolas do estado de Minas Gerais, apresentando, sob a forma de mapas, os resultados encontrados por tipo de biomassa. O zoneamento agroclimático das culturas potenciais para a produção de energia em Minas Gerais é resultante da interação entre as variáveis climatológicas e os parâmetros específicos das culturas. Tendo em vista a diversidade física, ambiental e socioeconômica de Minas Gerais, a realização do zoneamento agroclimático para a identificação das zonas com maior aptidão para a produção de biomassa revelou-se fundamental para subsidiar as políticas de produção energética no estado.

**Palavras-chave:** zoneamento agroclimático, biomassa, potencial energético, Atlas da Biomassa, Minas Gerais.

---

## 1. Introdução

A crescente conscientização da sociedade acerca dos efeitos deletérios do aquecimento global, vem forçando os governos das principais economias mundiais a construir uma agenda comum em prol da substituição das fontes de energia convencionais por fontes renováveis capazes de mitigar a emissão de gases do efeito-estufa. No Brasil, a participação de fontes renováveis na matriz energética era de 41,2% em 2015, enquanto a participação média mundial foi de 6,7 % para este mesmo ano (EPE, 2016; EIA, 2016; Pereira *et al.*, 2012). Segundo a *BP Statistical Review of World Energy* (2016), o consumo de fontes renováveis de energia no mundo teve um aumento de 2,8% no comparativo 2014-2015, crescimento considerável se comparado com o ano de 2005, no qual foi observado aumento de apenas 0,8%. Países como China e Alemanha registraram os maiores incrementos, de 20,9% e 23,5%, respectivamente.

A utilização da biomassa como fonte de energia renovável tem sido um desafio para países em desenvolvimento (Freppaz *et al.*, 2004). A principal exigência para a produção dedicada à bioenergia é a disponibilidade de terra e de água. Consequentemente a competição com a produção de alimentos é um aspecto crucial para se determinar com segurança, o potencial atingível para a produção de bioenergia (Voivontas *et al.*, 2001; Pereira Jr. *et al.*, 2013). Isto explica o crescente interesse nos estudos acerca do uso

de resíduos agrícolas para a produção de energia renovável (Ranta, 2005; Lora e Andrade, 2009; Miura *et al.*, 2011).

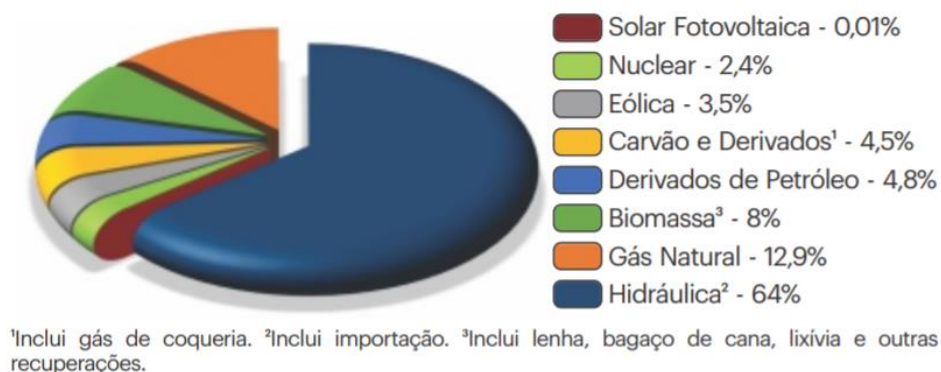
O Brasil dispõe de políticas públicas voltadas para consolidação e aumento da participação de fontes renováveis em sua matriz energética (Pereira Jr. *et al.*, 2011; Pereira Jr. *et al.*, 2013), destacando-se os investimentos em pesquisas (estudos de viabilidade econômica, zoneamento agroclimático, melhoramento genético, logística de transporte) para aumentar a competitividade da agricultura de energia no mercado internacional (Gazzoni, 2006; Ferreira-Leitão *et al.*, 2010; Álvares *et al.*, 2013). Em Minas Gerais, existe um enorme potencial para produção de biomassa a partir de resíduos agrícolas, tendo em vista a excelente distribuição pluviométrica verificada em algumas regiões do estado.

O presente estudo realiza uma análise exploratória a partir do zoneamento agroclimático das principais culturas agrícolas do estado de Minas Gerais, apresentando, sob a forma de mapas, os resultados encontrados por tipo de biomassa. Para isso, é necessário o conhecimento das condições climáticas e dos parâmetros fisiológicos das culturas agrícolas, da área da ciência denominada de Bioclimatologia Vegetal, e suas subdivisões: a) Meteorologia Agrícola; b) Climatologia Agrícola; c) Agrometeorologia; e, d) Agroclimatologia (Wollmann e Galvani, 2013). A promoção de políticas públicas que visam a segurança energética do estado requer uma base de dados confiável, que

contemple a distribuição espacial e temporal da oferta de biomassa no estado de Minas Gerais. Os resultados apresentados são oriundos do projeto de pesquisa e desenvolvimento para a construção do Atlas de Biomassa de Minas Gerais, concebido a partir de uma parceria entre a Companhia Energética de Minas Gerais/Agência Nacional de Energia Elétrica - CEMIG/ANEEL, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG) e NOE – Novas Opções Energéticas.

## 2. A participação da biomassa na matriz energética Brasileira e de Minas Gerais

A recente crise hídrica brasileira expôs, de forma contundente, a vulnerabilidade de se ter uma matriz energética concentrada na hidroeletricidade (Pereira *et al.*, 2012). Em 2015, as usinas hidrelétricas forneceram cerca de 64% da eletricidade consumida no país, como pode ser observado na Figura 1 (EPE, 2016).



**Figura 1:** Matriz energética brasileira no ano de 2015.  
Fonte: EPE (2016).

Em sua vasta maioria, a energia hidrelétrica é gerada a partir de reservatórios de acumulação de água (*World Commission on Dams*, 2001; Ribeiro *et al.*, 2015), o que mostra sua dependência direta do regime e intensidade da precipitação pluviométrica na respectiva bacia de contribuição.

Em que pesem o aumento da utilização de derivados de petróleo (de 4,4% para 6,4%) e a redução da energia

hidráulica (de 70,6% para 66,6%) entre 2013 e 2016, a participação de energias renováveis na matriz elétrica brasileira subiu de 79,3% para 81,5% devido, principalmente, à intensificação do uso de biomassa e da energia eólica (Tabela 1). Esta última aumentou em cerca de 4,5 vezes sua participação neste mesmo período, como pode-se perceber na Tabela 1.

Fonte de Energia	2013	2016
<b>Não-renovável</b>	<b>20,7%</b>	<b>18,5%</b>
Gás Natural	11,3%	8,4%
Derivados de Petróleo	4,4%	6,4%
Carvão Mineral	2,6%	2,4%
Nuclear	2,4%	1,3%
<b>Renovável</b>	<b>79,3%</b>	<b>81,5%</b>
Biomassa	7,6%	8,9%
Eólica	1,1%	6,0%
Hidráulica	70,6%	66,6%

**Tabela 1:** Participação das fontes na matriz de energia elétrica do Brasil.  
Fonte: ANEEL (2016).

Em 2015, o consumo total de energia elétrica no Brasil foi de 464,7 TWh, representando uma queda de 2,1% em relação a 2014 devido, principalmente, à retração de 5,3% no consumo do setor industrial (EPE, 2016). Já a oferta interna

de energia elétrica – OIEE, atingiu 615,9 TWh, sendo 1,3% menor que os valores de 2014. A geração hidráulica em 2015, incluindo-se a importação da Usina de Itaipu, foi responsável por 64% da OIEE (EPE, 2016). Assim, levando-se em

consideração o quadro de mudanças climáticas e a intensificação dos eventos extremos, com destaque para a continuidade do baixo regime de chuvas, urge rever a composição da matriz energética brasileira de forma a reduzir a elevada participação da hidroeletricidade, avaliando-se, regionalmente, as opções mais economicamente atrativas, socialmente desejáveis e ambientalmente sustentáveis (Tolmasquim *et al.*, 2007).

Luz e calor são as duas formas primárias de energia solar, sendo absorvidas e convertidas pelo meio ambiente em formas secundárias. Algumas dessas transformações resultam em fontes de energias renováveis, a exemplo da biomassa. O Brasil desfruta de condições naturais privilegiadas para a produção de biomassa, sendo uma oportunidade real para a redução da dependência hídrica:

- Grande extensão territorial: aproximadamente  $8,5 \times 10^6$  km<sup>2</sup>, dos quais cerca de 9% (76,6 milhões ha) estão ocupados por culturas anuais perenes e florestas plantadas, dispondo-se ainda de 12% (102 milhões ha) para o estabelecimento de novas lavouras (Bueno *et al.*, 2015);
- Clima tropical: com precipitação média anual de  $1.997 \pm 504$  mm e temperatura média de  $24,4 \pm 3,2^\circ$  C, elevada incidência de radiação solar (variando de 4.500 a 6.300 W h m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), decorrente de sua localização geográfica, que se estende de 10° N a 30° S (Alvares *et al.*, 2013, Hijmans *et al.*, 2005; Pereira *et al.*, 2006);
- Grande variedade de espécies nativas e exóticas com alto potencial para produção de biomassa energética: tais como o algodão, amendoim, coco, dendê, eucalipto, girassol, macaúba, mamona, milho e soja (Gazzoni, 2006);
- Sólido conhecimento científico e tecnológico sobre agricultura dos trópicos: resultantes do desenvolvimento de programas de silvicultura clonal (eucalipto, pinus) e de melhoramento genético de culturas agrícolas (soja, milho), permitindo ganhos expressivos de produtividade.

A biomassa para produção de energia, quanto à sua origem, enquadra-se nas seguintes categorias (EPE, 2008):

- Florestal (produtos, subprodutos e resíduos);
- Agrícola (culturas energéticas dedicadas, subprodutos e resíduos);
- Resíduos urbanos.

A disponibilidade de biomassa para projetos de produção de energia apresenta elevada dependência espacial, dada a grande diversidade edafoclimática do território brasileiro. Isso implica que a lucratividade de uma usina estará fortemente ligada à sua localização. As plantas de bioenergia requerem uma quantidade adequada de biomassa para satisfazer, ao menor custo possível aos níveis projetados de demanda (Panichelli e Gnansounou, 2008). Consequentemente, os custos de transporte são de importância fundamental para qualquer projeto de energia da biomassa, devido às suas características intrínsecas, em que se destaca a baixa densidade energética quando comparada à

de combustíveis fósseis. Logo, os projetos de bioenergia são particularmente sensíveis a esta variável. O estabelecimento de usinas de energia de biomassa em locais estratégicos, de modo a minimizar os custos de transporte, é um dos pilares da economia de biocombustíveis, ditando sua sustentabilidade (Tenerelli e Monteleone, 2008; Khachatryan *et al.*, 2010; Sultana e Kumar, 2012; Pereira Jr. *et al.*, 2013).

O estado de Minas Gerais não é capaz de produzir toda sua demanda energética, necessitando que parte desta energia seja importada principalmente dos estados vizinhos. Segundo o Balanço Energético do Estado de Minas Gerais (BEEMG, 2015), a demanda total de energia no estado em 2014 foi de 38.388 Mtep e cerca de 59,7% desta energia foi obtida por meio de importação. As fontes de energias primárias fósseis são obtidas pelo estado na sua totalidade por meio das importações, assim, a produção energética primária de Minas Gerais é obtida somente por meio de fontes renováveis. Em 2014, a produção de energia primária no estado foi de 17.401 Mtep, ao se analisar os dados de produção energética do estado, observa-se que não existem alterações significativas desde o ano de 2006. Com relação ao tipo de fontes renováveis, em 2014, a lenha e seus derivados possuíram uma participação de 36,1% na demanda energética do estado, seguido pela energia hidráulica (22,4%) e da produção de vapor de processo e eletricidade a partir do bagaço da cana-de-açúcar (16,1%), o restante compreende o caldo de cana e melaço, oleaginosas e resíduos industriais agrícolas (MEEMG, 2015).

### 3. Dados e métodos

O zoneamento agrícola requer a espacialização das variáveis climatológicas, objetivando a delimitação de áreas homogêneas que expressam a relação funcional com os requerimentos climáticos que determinam a aptidão agrícola. De modo geral, a espacialização da temperatura tem sido feita relacionando as medições obtidas em estações meteorológicas com as coordenadas geográficas de latitude, longitude e altitude. A modelagem das variações espaciais da temperatura com o uso de redes neurais artificiais permite que uma única função descreva toda a variabilidade espaço-temporal (Sediyama *et al.*, 2001). As bases de dados referem-se ao BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa), disponibilizado pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), contendo a série temporal de dados meteorológicos diários das estações convencionais entre os anos de 1960 e 2016. Foram selecionadas as estações instaladas no estado de Minas Gerais e estados vizinhos da Bahia, Espírito Santo, Goiás, Distrito Federal, São Paulo e Rio de Janeiro, perfazendo um total de 80 estações meteorológicas.

O zoneamento agroclimático das culturas potenciais para a produção de energia em Minas Gerais é resultante da interação entre as variáveis climatológicas e os parâmetros específicos das culturas. No caso das culturas perenes (eucalipto, pinus, pinhão manso e café), as zonas de aptidão foram delimitadas em função dos parâmetros das culturas e das normais climatológicas das variáveis de maior restrição ao cultivo e condições de altitude. Em relação às culturas de ciclo curto (cana de açúcar, milho, soja, mandioca, mamona e soja), a aptidão de cultivo foi definida em função da

probabilidade de ocorrência suprimento hídrico ao longo do ciclo e dos riscos relacionados à temperatura e a umidade do ar.

### **Café (*Coffea arabica* L.)**

O zoneamento do café foi baseado em parâmetros médios da cultura, solos de textura média e capacidade de água disponível no solo de 150 m. As variáveis classificatórias expressam as condições hídricas e térmicas.

- Condições Hídricas - Apto: balanço hídrico com excedente de água por período superior a 140 dias/ano e déficit hídrico anual entre 40 e 220 mm. Restrição hídrica moderada: balanço hídrico com excedente de água entre 130 e 140 dias/ano. Restrição hídrica severa: balanço hídrico com excedente de água inferior a 130 dias/ano, ocasionando longa duração do período de estiagem e redução da oferta hídrica em fases críticas de demanda hídrica. Restrição hídrica por excesso de água no solo: balanço hídrico com excedente de água superior a 700 mm e balanço hídrico com excedente de água no solo por período superior a 200 dias, o que poderá induzir à deficiência ou falta de oxigênio no solo (anoxia).
- Condições Térmicas - Apto: temperaturas médias anuais entre 16 e 22 °C. Restrições térmicas por frio: temperatura média anual menor que 16 °C e temperatura mínima anual menor que 11 °C. Restrições térmicas por excesso de calor: temperatura média anual > 22 °C e temperatura média anual do mês de novembro maior que 24°C (Assad *et al.*, 2004). Altas temperaturas impactam negativamente a floração e desenvolvimento dos grãos sendo ainda a principal causa de seus abortamentos (Sedyama *et al.*, 2001). O zoneamento do cafeeiro arábica (*Coffea arabica* L.) para o estado de Minas Gerais foi gerado a partir da classificação de pixel de acordo com as condições hídricas e térmicas requeridas pela cultura.

### **Cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)**

Os parâmetros climáticos adotados para o zoneamento da cana-de-açúcar em Minas Gerais foram:

- Condições Hídricas - Déficit hídrico anual entre 150 e 300 mm. Balanço hídrico anual com excedente hídrico superior a 600 mm. Balanço hídrico anual com período de excedente hídrico superior a 110 dias. Precipitação média anual superior a 1.200 mm.
- Condições Térmicas - Temperatura média anual superior a 19 °C. A partir do cruzamento entre as variáveis classificatórias foram estabelecidas 5 zonas relacionadas com a aptidão de cultivo.

### **Eucalipto (*Eucalyptus* sp.)**

Os parâmetros climáticos adotados para o zoneamento do eucalipto em Minas Gerais foram:

- Condições Hídricas - Precipitação média anual > 900 mm. Deficiência hídrica anual inferior a 200 mm.
- Condições Térmicas - Temperatura mínima do mês mas frio > 9 °C. Temperatura média anual entre 12 e 25 °C.

### **Milho (*Zea mays* L.)**

A Portaria Nº 151, de 20 de julho de 2016 define as datas de plantio e cultivares de milho indicadas para solos de textura média, arenosa e argilosa no estado de Minas Gerais. O Zoneamento Agrícola de Risco Climático emprega séries históricas diárias e identifica as datas de plantio correspondentes à minimização dos riscos de estresses hídricos em função do desenvolvimento da cultura e a disponibilidade de água no solo.

O zoneamento apresentado utiliza de séries decenais de chuva e evapotranspiração e determina a disponibilidade de água no solo para cultivares de ciclo médio (110 dias) e solo com textura média (CAD de 125 mm). Áreas com riscos de excesso de água no solo, com registros de excedentes de água no balanço hídrico maiores que 700 mm/ano, foram identificadas como inaptas para o cultivo.

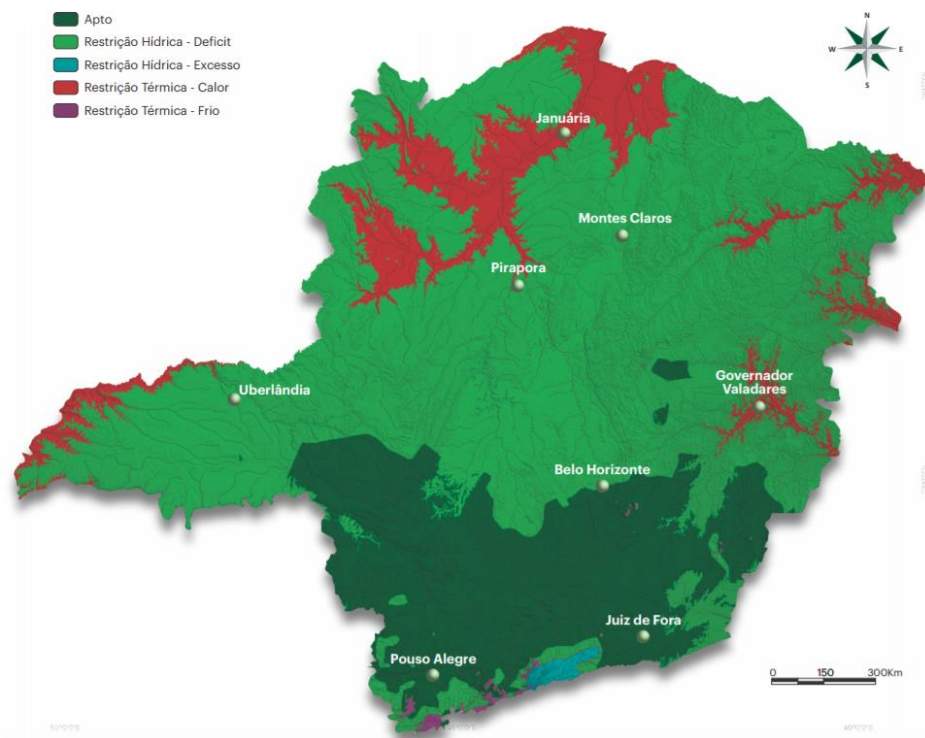
### **Soja (*Glycine max* L.)**

O zoneamento agroclimatológico da soja para o estado de Minas Gerais seguiu os mesmos padrões adotados para a cultura do milho, diferenciando-se em função do volume de solo explorado pelas raízes, ciclo de crescimento e produção e coeficiente de cultura.

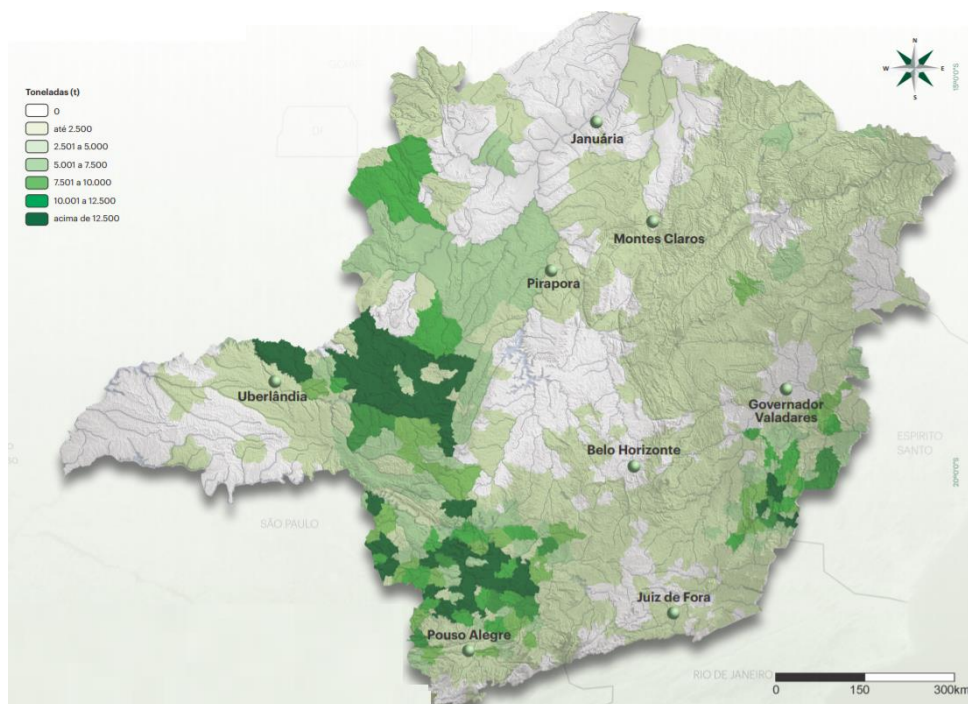
## **Resultados e Discussão**

A Figura 2 apresenta o zoneamento agroclimático do café, indicando as áreas tidas como aptas, sem nenhuma restrição térmica ou hídrica. Entre estas, destacam-se as áreas tradicionais de cultivo em Minas Gerais, especialmente nas mesorregiões Sul e Sudoeste, Campo das Vertentes e parte da Zona da Mata, Oeste e Alto Paranaíba. A Figura 3 mostra a média de produção de café entre os anos de 2010 a 2015, confirmando que as áreas delimitadas como aptas são as que apresentam maior produção, com exceção da porção Sudeste do estado, entre Juiz de Fora e Belo Horizonte.

A localização geográfica e o tipo de relevo exercem influência nas temperaturas no estado de Minas Gerais, onde predominam as maiores médias de temperatura máxima e mínima nas regiões Centro-Oeste, Noroeste e Triângulo. Estes locais apresentaram as maiores áreas com restrição térmica por excesso de calor (Figura 2), tornando as áreas inaptas ao cultivo cafeeiro, mesmo sob o regime de irrigação. Nas áreas com restrição por déficit hídrico, os cultivos de café devem ser realizados preferencialmente com algum tipo de irrigação.



**Figura 2:** Zoneamento agroclimático para o café.  
 Fonte: Elaboração Própria. Projeto Atlas de Biomassa, 2017.



**Figura 3:** Média de produção de café em Minas Gerais (2010 – 2015).  
 Fonte: IBGE (2016).

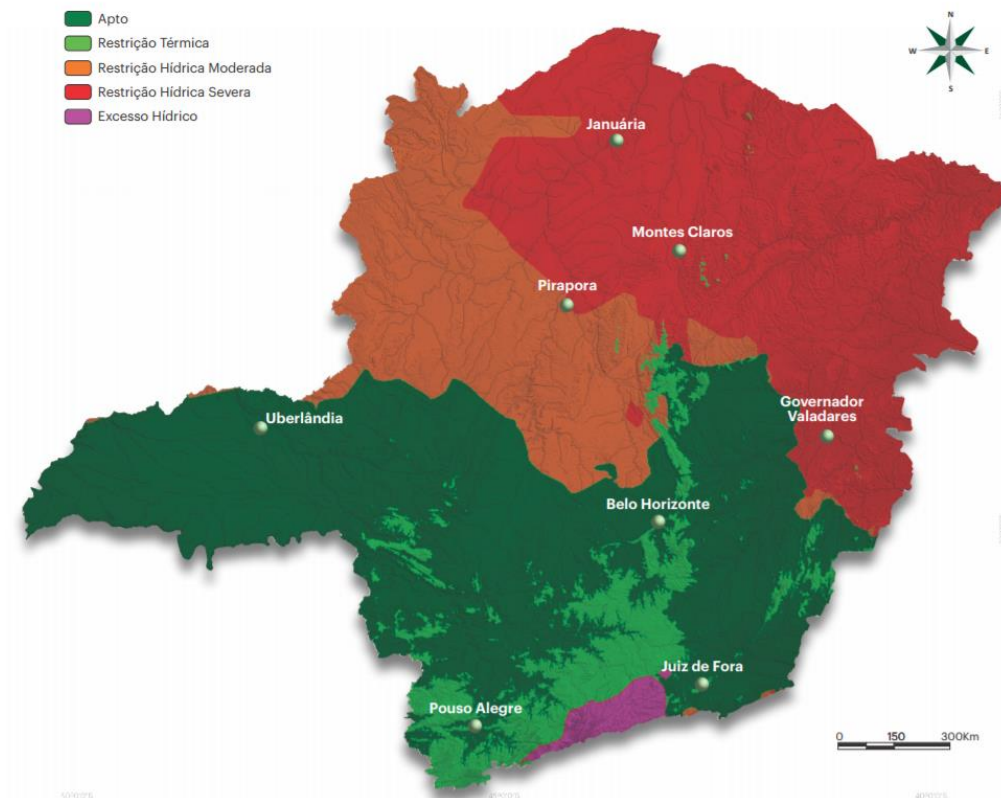
No zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar (Figura 4), pode-se observar que o Jequitinhonha, Vale do Mucuri, Norte e Oeste de Minas, apresentam algum tipo de restrição, seja por elevadas temperaturas ou falta de chuvas. Isso não significa que o cultivo de cana é impossibilitado nestas regiões, mas é um parâmetro que indica a necessidade do uso de sistemas de irrigação ou de espécies mais adaptadas a tais

condições climáticas. Estas restrições afetam diretamente a produtividade da cultura, reduzindo a competitividade e os lucros dos produtores e investidores com a ampliação dos riscos de quebra de safra. Existem também restrições térmicas e restrições por excesso hídrico, que ocorrem principalmente nas regiões do Campo das Vertentes e Sul de

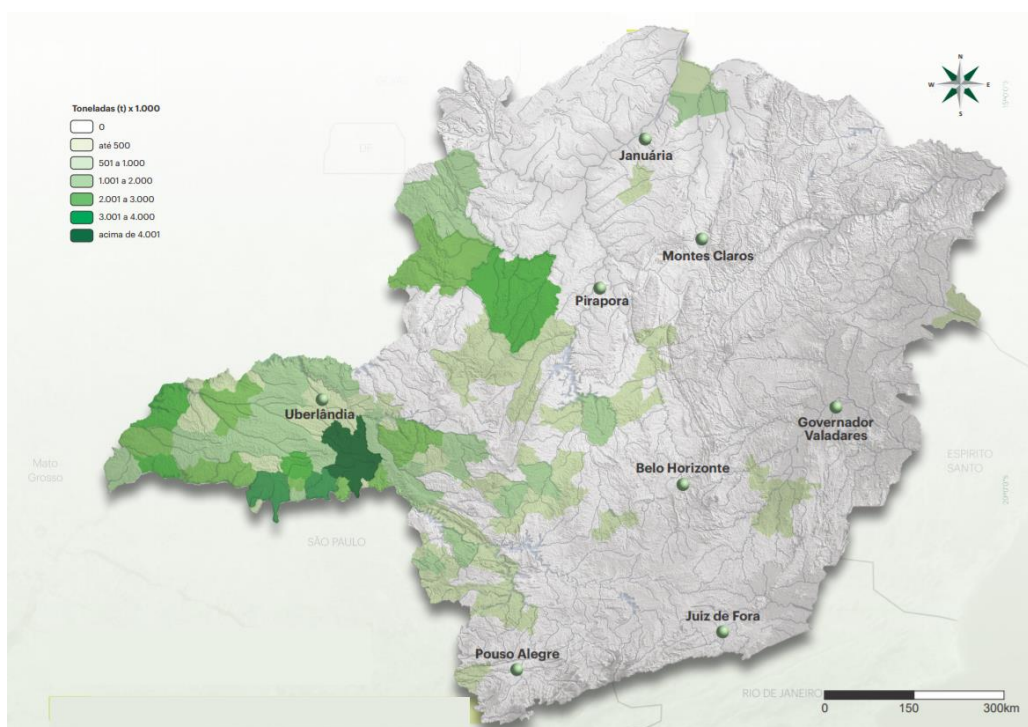
Minas, que também são capazes de provocar a redução de produtividade.

A Figura 5 apresenta a produção média de cana-de-açúcar entre os afiliados da Associação das Indústrias Sucroenergéticas de Minas Gerais, obtido junto ao IBGE (2015), para os anos de 2010 a 2015. A região do Triângulo Mineiro apresentou uma classificação de apta ao cultivo da

cana, fato este, que justifica sua liderança na produção desta cultura no estado. Outras regiões que notadamente possuem aptidão para o plantio de cana de açúcar não possuem produção significativa devido, sobretudo, as condições desfavoráveis de relevo e à elevada mecanização demandada pela cultura.



**Figura 4:** Zoneamento agroclimático para a cana-de-açúcar. Fonte: Elaboração Própria. Projeto Atlas de Biomassa, 2017.

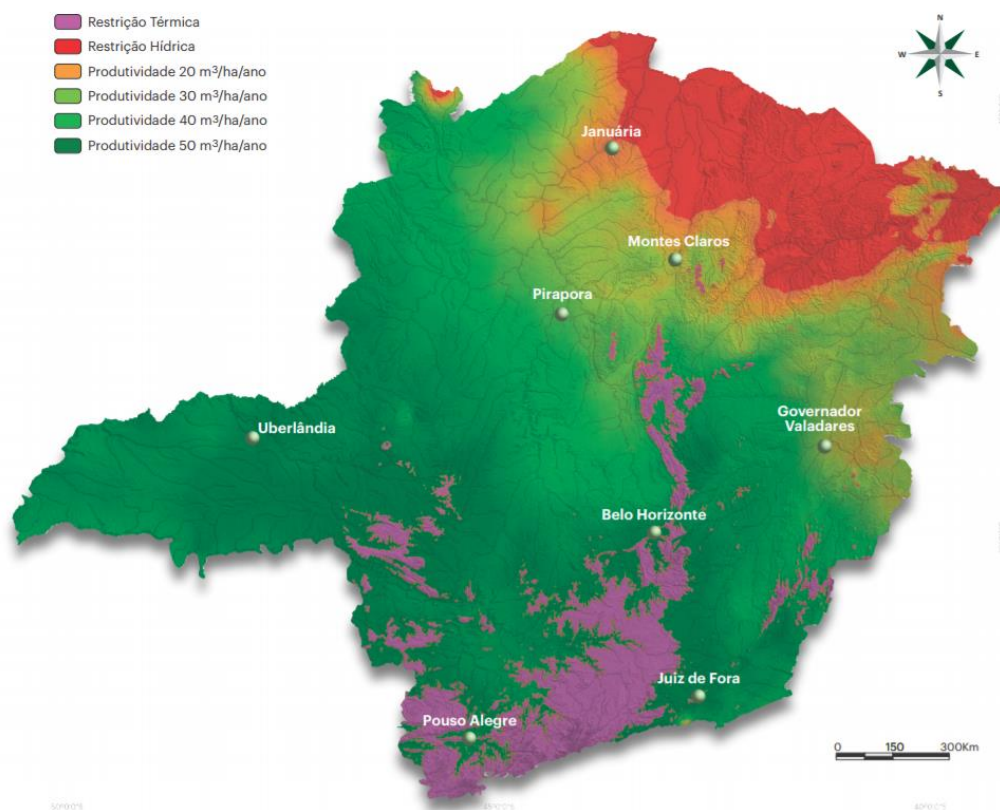


**Figura 5:** Média de produção de cana-de-açúcar em Minas Gerais (2010 – 2015).

O gênero *Eucalyptus* possui uma grande variabilidade intra e interespecífica, o que proporciona um grande número de espécies e clones adaptados aos mais variados tipos de clima e solo. Este fato pode ser observado na Figura 6, em que a área mais apta ao seu cultivo (produtividade > 50 m<sup>3</sup>/há/ano), ocupa a maior parte do estado de Minas Gerais. O eucalipto é uma das culturas comerciais mais resistentes à seca e às variações de temperatura. Portanto, o zoneamento agroclimático do eucalipto foi o único que revelou aptidão significativa da cultura nas regiões do Jequitinhonha e Norte de Minas.

A elevada reprodução de clones de eucalipto, com características e adaptabilidades distintas, torna o seu

zoneamento mais dinâmico do que as demais culturas. A Figura 7 apresenta a média de produção de lenha de eucalipto entre os anos de 2010 a 2015. Pode-se observar que existem cultivos em todas as regiões do estado, desde o Sul de Minas, que possui um clima mais ameno e úmido, até o Norte de Minas com o clima seco e quente. Esta característica do eucalipto o torna importante alternativa aos pequenos produtores rurais para o incremento da renda familiar. Devido à baixa competitividade com outras culturas na porção setentrional do estado, percebe-se que existe uma produção significativa de eucalipto mesmo em áreas de baixa aptidão, conforme a Figura 7.



**Figura 6:** Zoneamento agroclimático para o eucalipto.  
Fonte: Elaboração Própria. Projeto Atlas de Biomassa, 2017.

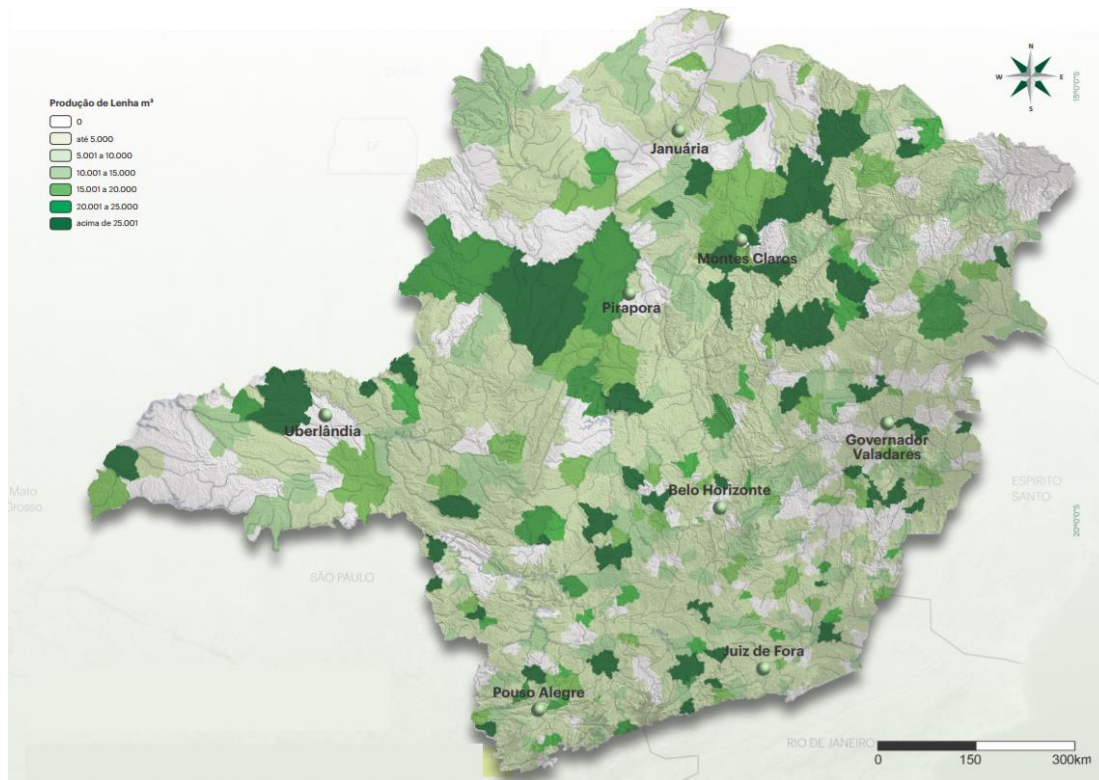


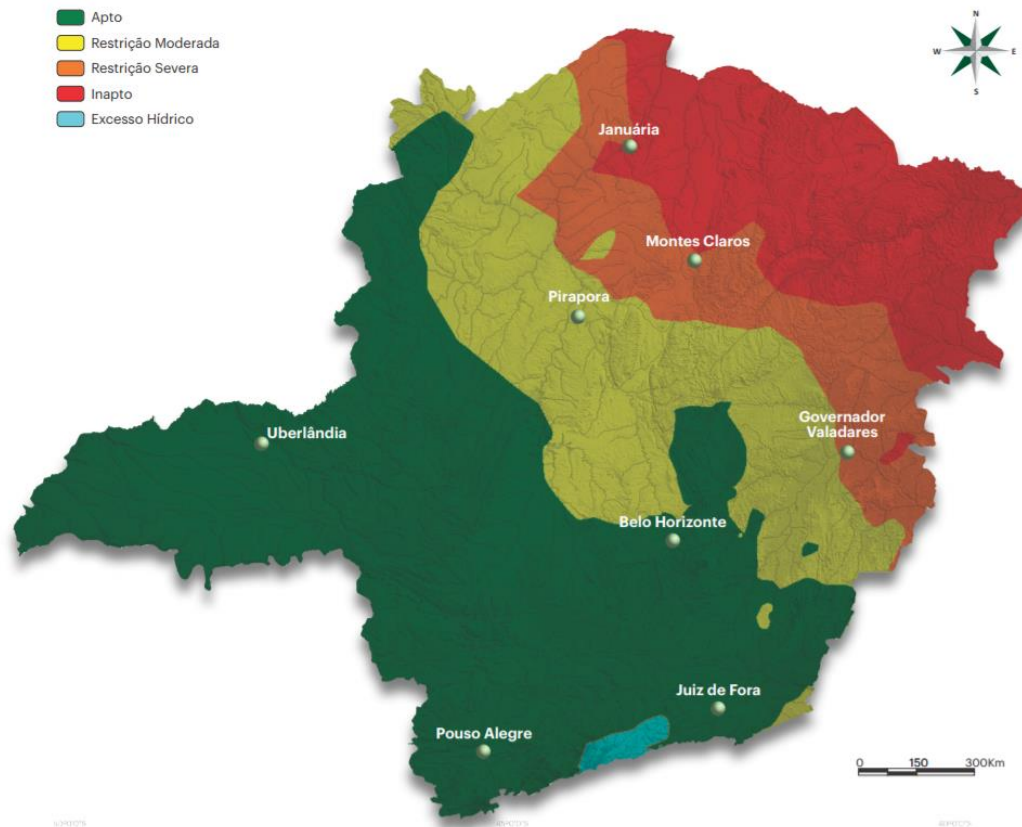
Figura 7 – Média de produção de lenha de eucalipto em Minas Gerais (2010 – 2015). Fonte: IBGE (2016).

O zoneamento agroclimático, tanto para o milho quanto para a soja, apresenta resultados similares devido às necessidades térmicas e hídricas análogas para as duas culturas, comumente encontradas no estado de Minas Gerais. Parte das regiões do Jequitinhonha e Norte de Minas foram classificadas como inaptas para a produção destas culturas, devido ao fato do risco potencial de déficit hídrico (Figuras 8 e 9).

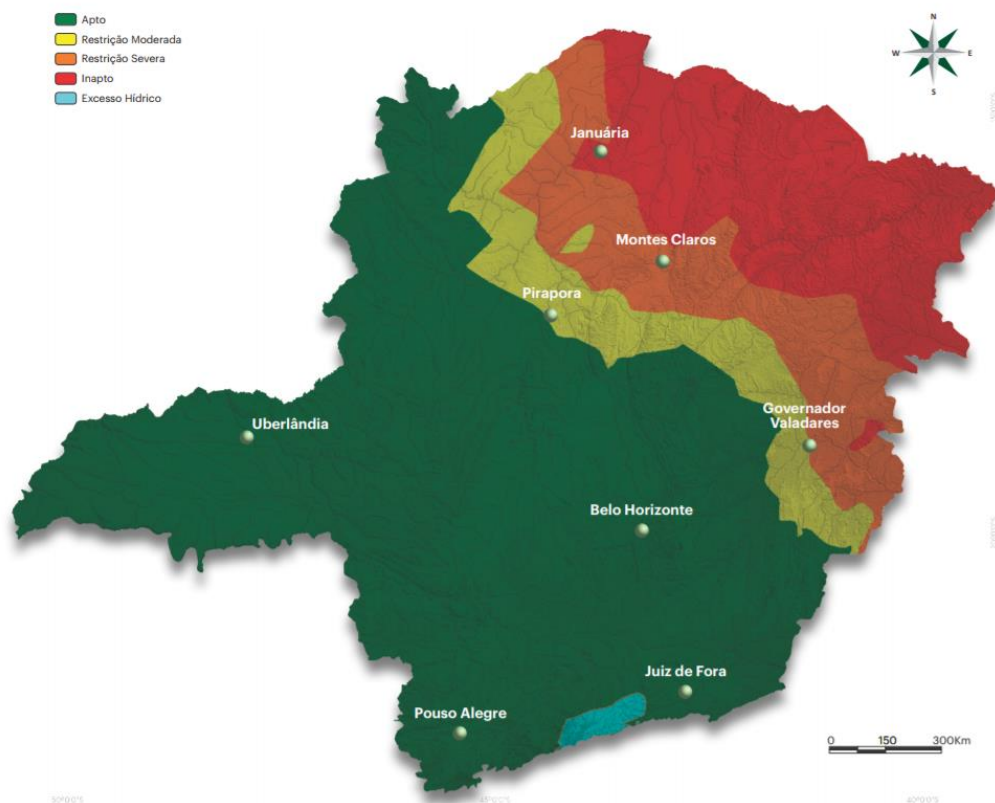
As similaridades entre o zoneamento agroclimático do milho e da soja também podem ser constatadas nos mapas de

produção média no estado de Minas Gerais (Figuras 10 e 11). As regiões do Triângulo, Noroeste, e Alto Paranaíba se destacam como as maiores produtoras de ambos os grãos, sendo consideradas como aptas para o cultivo. A grande dispersão do cultivo de milho ao longo do estado de Minas Gerais, pode ser justificada pelo fato de que esta cultura é utilizada para alimentação humana. Já a soja é cultivada principalmente objetivando-se as exportações ou para servir de ração animal (APROSOJA Brasil, 2014).





**Figura 8:** Zoneamento agroclimático para o Milho.  
 Fonte: Elaboração Própria. Projeto Atlas de Biomassa, 2017.



**Figura 9:** Zoneamento agroclimático para a soja.  
 Fonte: Elaboração Própria. Projeto Atlas de Biomassa, 2017.

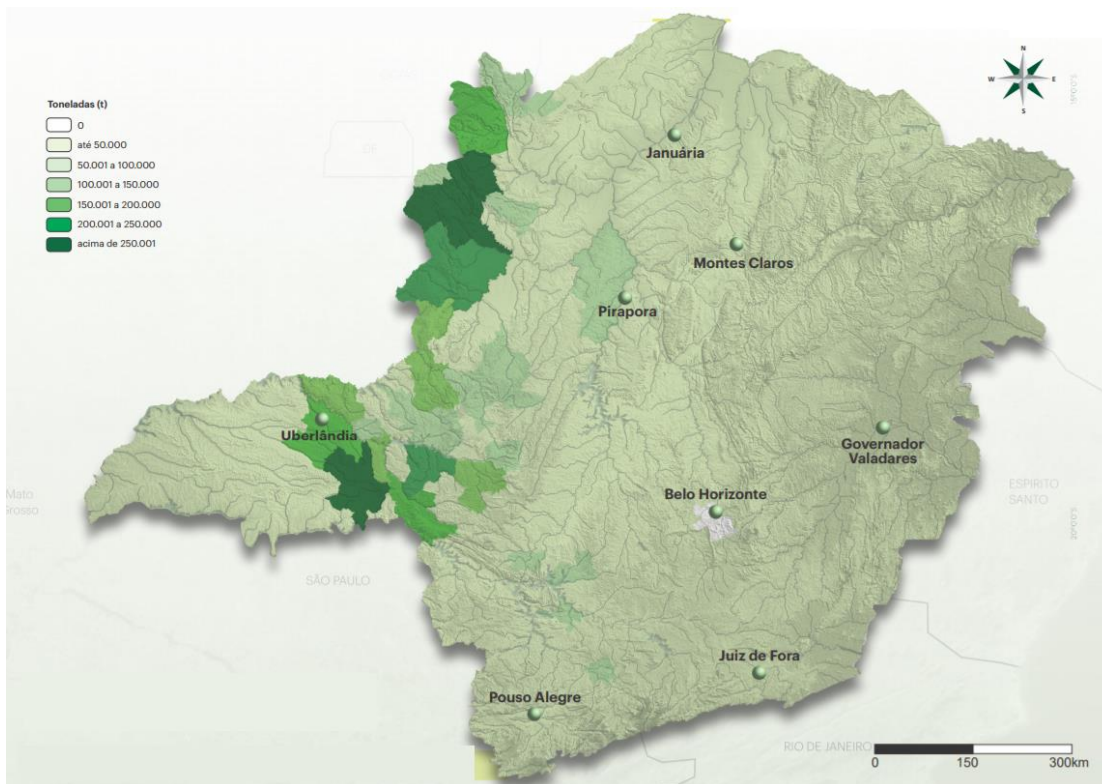


Figura 10: Média de produção de milho em Minas Gerais (2010 – 2015).  
Fonte: IBGE (2016).

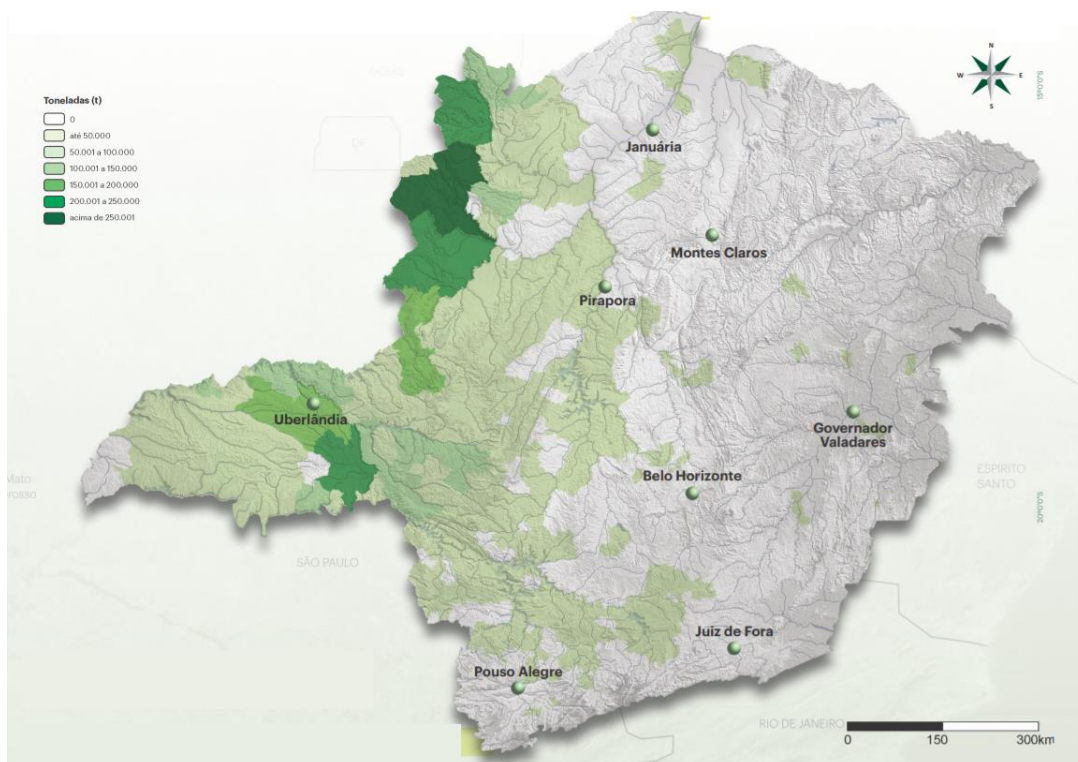


Figura 11: Média de produção de soja em Minas Gerais (2010 – 2015).  
Fonte: IBGE (2016).

#### 4. Conclusão

Em função de sua localização geográfica, relevo, continentalidade, variabilidade de biomas e fitofisionomias, Minas Gerais apresenta condições termodinâmicas que

resultam em regimes distintos de chuvas, implicando em diferentes níveis de produção agrícola e de biomassa no estado. As regiões Norte e do Vale do Jequitinhonha apresentam baixos índices pluviométricos com grandes impactos socioeconômicos e culturais. Entretanto, a porção

central e meridional do estado revelam enorme potencial para produção de energia de biomassa. Tendo em vista a diversidade física, ambiental e socioeconômica de Minas Gerais, a realização do zoneamento agroclimático para a identificação das zonas com maior aptidão para a produção de biomassa revelou-se fundamental para subsidiar as políticas de produção energética no estado.

A comparação entre o zoneamento agroclimático e a média da produção das principais culturas agrícolas do estado (2010-2015), além de ser um indicador da qualidade das informações contidas no zoneamento, aponta as regiões em que novos cultivos, podem ou não, serem implementados. A necessidade de suplementação com irrigação também pode ser obtida a partir da relação entre o zoneamento agroclimático e a média da produção agrícola, este dado é importante pois possui impacto significativo nos custos de produção e no meio ambiente.

Observou-se que a cultura do eucalipto foi a fonte de biomassa que apresentou a maior zona de aptidão ao longo do estado de Minas Gerais. Este fato pode ser justificado devido as características fisiológicas da planta, além da inúmera criação de clones mais adaptados as diferentes condições de clima e solo. Este fato, torna o eucalipto, uma importante alternativa econômica para produtores rurais em zonas de baixa aptidão para outros tipos de biomassa.

## REFERÊNCIAS

Álvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, **22** (6): 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

APROSOJA BRASIL - Associação dos Produtores de Soja e Milho do Estado de Mato Grosso. 2014. Uso da soja. [online] URL: <http://aprosojabrasil.com.br/2014/sobre-a-soja/uso-da-soja>

Assad ED, Pinto HS, Junior JZ, Ávila AMH. 2004. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. **39** (11): 1057-1064. [online] URL: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/pab/v39n11/22575.pdf>

ANEEL – Agência Brasileira de Energia Elétrica. 2016. Banco de Informações de Geração – Matriz de Energia Elétrica. [online] URL: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>

BEEMG. 2015. 30º Balanço Energético do Estado de Minas Gerais. Companhia Energética de Minas Gerais. [online] URL: [http://www.cemig.com.br/pt-br/A\\_Cemig\\_e\\_o\\_Futuro/inovacao/Alternativas\\_Energetica/s/Documents/BEEMG.pdf](http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energetica/s/Documents/BEEMG.pdf)

BP Statistical Review of World Energy. 2016. [online] URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>

Bueno OC, Esperancini MST, Takitane IC. 2015. Produção de biodiesel no Brasil: aspectos socioeconômicos e ambientais. *Ceres*, **56** (4). [online] URL: <http://www.redalyc.org/html/3052/305226808018/>

EIA - Energy Information Administration. 2016. Renewable Energy - Official Energy Statistics from the U.S. Government. [online] URL: <http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page>

EPE – Empresa de Pesquisas Energéticas. 2008. Plano Nacional de Energia 2030, cap 8: Geração Termelétrica – Biomassa. [online] URL: [http://www.epe.gov.br/PNE/20080512\\_8.pdf](http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_8.pdf)

EPE – Empresa de Pesquisas Energéticas. 2016. Balanço Energético Nacional. [online] URL: [https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2016.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf)

Ferreira-Leitão V, Gottschalk LMF, Ferrara MA, Nepomuceno AL, Molinari HBC, Bon EP. 2010. Biomass residues in Brazil: availability and potential uses. *Waste and Biomass Valorization*, **1** (1): 65-76. <https://doi.org/10.1007/s12649-010-9008-8>

Freppaz D, Minciadia R, Robbab M, Rovattia M, Sacilea R, Taramassoa A. 2004. Optimizing forest biomass exploitation for energy supply at a regional level. *Biomass and Bioenergy*. **26** (1): 15-25. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(03\)00079-5](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00079-5)

Gazzoni DL. 2006. As políticas públicas de biocombustíveis e o mercado de oleaginosas. *EMBRAPA*. [online] URL: <http://200.144.182.46/midioteca/apresentacao/politicaspubliCASGazzoni.pdf>

Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A. 2005. The WorldClim interpolated global terrestrial climate surfaces. *Version 1.4*. [online] URL: <http://www.worldclim.org/version1>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. Produção Agrícola Municipal. IBGE. Rio de Janeiro/RJ. [online] URL: <http://www2.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=1612&z=p&o=30&i=P>

Khachatryan H, Jessup E, Casavant K. 2010. A GIS-based Estimation of Regional Biomass Supply and Transportation Costs for Biofuel Plant Least-Cost Location Decisions. *51st Annual Transportation Research Forum*, Arlington, Virginia. [online] URL: [http://ageconsearch.umn.edu/record/207816/files/2010\\_14\\_Economic\\_Impact\\_EU\\_Emissions\\_Airlines.pdf](http://ageconsearch.umn.edu/record/207816/files/2010_14_Economic_Impact_EU_Emissions_Airlines.pdf)

Lora, E.S., Andrade, R.V. 2009. Biomass as energy source in Brazil. *Renewable and sustainable energy reviews*. **13** (1): 777–788. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.12.004>

- Miura AK, Formaggio AR, Shimabukuro YE, Luiz AJB, dos Anjos SD, Temperado EC. 2011. Potencial das áreas disponíveis ao cultivo de biomassa para produção de energia, nas Microrregiões Sulriograndenses de Cerro Largo, Santa Rosa e Santo Ângelo. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR*, Curitiba, PR, Brasil. **30**. [online] URL: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/915428/potencial-das-areas-disponiveis-ao-cultivo-de-biomassa-para-producao-de-energia-nas-microrregioes-sulriograndenses-de-cerro-largo-santa-rosa-e-santo-angelo>
- Panichelli L, Gnansounou E. 2008. GIS-based approach for defining bioenergy facilities location: A case study in Northern Spain based on marginal delivery costs and resources competition between facilities. *Biomass and Bioenergy*. **32** (4): 289-300. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.10.008>
- Pereira Jr AO, Pereira AS, La Rovere EL, Barata, MML, Villar SC, Pires SH. 2011. Strategies to promote renewable energy in Brazil. *Renewable and sustainable energy reviews*. **15** (1): 681-688. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.027>
- Pereira Jr AO, Costa RC, Costa CV, Marreco JM, La Rovere EL. 2013. Perspectives for the expansion of renewable energy sources in Brazil. *Renewable and sustainable energy reviews*. **23** (1): 49-59. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.020>
- Pereira EB, Martins FR, Abreu SD, Rütther R. Atlas brasileiro de energia solar. INPE, 2006. [online] URL: [http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil\\_solar\\_atlas\\_R1.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf)
- Pereira MG, Camacho CF, Freitas MAV, Silva NF. 2012. The renewable energy market in Brazil: Current status and potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **16**, (6): 3786-3802. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.024>
- Ranta T. 2005. Logging residues from regeneration fellings for biofuel production—a GIS-based availability analysis in Finland. *Biomass and Bioenergy*. **28** (2): 171-182. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2004.08.010>
- Ribeiro CAAS, Mounts DJ, Menezes SJC, Rocha RRC, Chaves MA, Castro NLM, Barros KO, Martins BF, Gleriani JM, Soares, VP. 2015. An Equitable Approach for Compensating Municipalities of the Rio Grande Watershed for Electricity Generated by the Furnas Hydropower Plant, Brazil. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, **40** (7): 913. [online] URL:
- <https://search.proquest.com/openview/1a5cc46c47526161f08761c0859b744a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2037674>
- Sediyama GC, Júnior JCFM, Santos AR, Ribeiro A, Costa MH, Hamakawa PJ, Costa JMN, Costa LC. 2001. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o estado de Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, **9** (3): 501-509. [online] URL: [http://trigo.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/pdf/revista/ca\\_p14.pdf](http://trigo.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/pdf/revista/ca_p14.pdf)
- Sultana, A.; Kumar, A. 2012. Optimal siting and size of bioenergy facilities using geographic information system. *Applied Energy*. **94**: 192-201. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.01.052>
- Tenerelli P, Monteleone MA. 2008. Combined land-crop multicriteria evaluation for agroenergy planning. Italy: SUSTOIL. University of Foggia. [online] URL: [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/46998037/A\\_combined\\_land-crop\\_multicriteria\\_evalu20160704-5039-19gswlh.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1508265552&Signature=jyEGpUJGxmwqVw7OQHnE5hrxtVA%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DA\\_combined\\_land-crop\\_multicriteria\\_evalu.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/46998037/A_combined_land-crop_multicriteria_evalu20160704-5039-19gswlh.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1508265552&Signature=jyEGpUJGxmwqVw7OQHnE5hrxtVA%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DA_combined_land-crop_multicriteria_evalu.pdf)
- Tolmasquim MT, Guerreiro A, Gorini R. 2007. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. *Novos estudos - CEBRAP*. (79): 47-69. [online] URL: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-33002007000300003&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-33002007000300003&script=sci_arttext)
- Voivontas D, Assimacopoulos D, Koukios EG. 2001. Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method. *Biomass and Bioenergy*, **20** (2): 101-112. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(00\)00070-2](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00070-2)
- Wollmann CA, Galvani E. 2013. Zoneamento agroclimático: linhas de pesquisa e caracterização teórica-conceitual. *Sociedade & natureza*. **25** (1): 179-190. [online] URL: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/artic/view/17438>
- World Commission on Dams. 2001. Dams and Development: A New Framework for Decision-making: the Report of the World Commission on Dams. Earthscan. [online] URL: [https://www.internationalrivers.org/sites/default/files/attached-files/world\\_commission\\_on\\_dams\\_final\\_report.pdf](https://www.internationalrivers.org/sites/default/files/attached-files/world_commission_on_dams_final_report.pdf)

# Agroclimatic zoning of crops with energy potential in the state of Minas Gerais

Luciano S. dos Reis \*  
Ruibran Januário dos Reis \*\*  
Daniel Pereira Guimarães \*\*\*  
Claudio Homero Ferreira da Silva \*\*\*\*

\* Agronomic Engineering (UFV). Master in Agricultura Engineering (UFV).

\*\* Meteorologist (UFRJ). Master in Environmental Engineering (UFMG). Doctorate in Geography (PUCMinas). Meteorologist at Clima-Tempo.

\*\*\* Forest Engineering (UFV). Master in Forest Engineering (UFV). Doctorate in Forest Engineering (UFV). Researcher at Embrapa.

\*\*\*\* Chemical Engineering (UFU). Master in Chemical Engineering (UFU). Doctorate in Chemical Engineering (UFU). Works at CEMIG.

---

**Abstract** The development and adoption of highly efficient technologies to maximize the exploitation of renewable sources of clean energy are crucial for reducing environmental impacts and the amount of secondary wastes. Increased process efficiency ensures the sustainability of energy supply based on current and future levels of economic and social demands. The present study makes an exploratory analysis based on the agroclimatic zoning of the main agricultural crops of the state of Minas Gerais, presenting, in the form of maps, the results found by type of biomass. The agroclimatic zoning of the potential crops for energy production in Minas Gerais is the result of the interaction between the climatological variables and the specific parameters of the crops. Considering the physical, environmental and socioeconomic diversity of Minas Gerais, the accomplishment of the agroclimatic zoning to identify the zones with greater aptitude for the production of biomass proved fundamental to subsidize the energy production policies in the state.

**Key-words:** agroclimatic zoning, biomass, energy potential, Atlas of Biomass, Minas Gerais.

---

## Informações sobre os autores

### Luciano S. dos Reis

Endereço para correspondência: PUCMinas - Av Dom José Gaspar, 500 - Coração Eucarístico, Belo Horizonte - MG, 30535-901

E-mail: luciano.arborista@gmail.com

Link para o currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/5912818178640697>

### Ruibran Januário dos Reis

Endereço para correspondência: R. José Antônio Coelho, 567 - Vila Mariana, São Paulo - SP, 04011-061.

E-mail: ruibrandosreis@gmail.com

Link para o currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/8900649523524906>

### Daniel Pereira Guimarães

Endereço para correspondência: Rod MG 424 Km 45, Zona Rural, Sete Lagoas - MG, 35701-970

E-mail: daniel.guimaraes@embrapa.br

Link para o currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/9659441355661769>

### Cláudio Homero Ferreira da Silva

Endereço para correspondência: Cemig GT SA, Av. Barbacena, 1200 - Santo Agostinho, Belo Horizonte - MG, 30190-131.

E-mail: chomero@cemig.com.br

Link para o currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/2672329280870888>

**Artigo Recebido em:** 05-04-2017

**Artigo Aprovado em:** 16-06-2017

