

Ponderação de variáveis ambientais para a determinação do Potencial de Uso Conservacionista para o Estado de Minas Gerais

Adriana Monteiro da Costa
Universidade Federal de Minas Gerais
Profª. Adjunta do Departamento de Geografia
drimonteiroc@yahoo.com.br

João Herbert Moreira Viana
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Pesquisador
joao.herbert@embrapa.br

Láís Pinheiro Evangelista
Universidade Federal de Minas Gerais
Geógrafa
pinheirolais16@gmail.com

Dayane Caroline de Carvalho
Universidade Federal de Minas Gerais
Mestranda em Análise e Modelagem de
Sistemas Ambientais
dayanecfc@gmail.com

Klinsmann Cortezzi Pedras
Universidade Federal de Minas Gerais
Geógrafo
klinsmanncortezzi@gmail.com

Ivana de Marco Horta
Universidade Federal de Lavras
Mestre em Engenharia Florestal
idmfh14@gmail.com

Hugo Henrique de Cardoso Salis
Universidade Federal de Minas Gerais
Mestrando em Análise e Modelagem de Sistemas
Ambientais
hugohecsalis@gmail.com

Max Paulo Rocha Pereira
Universidade Federal de Minas Gerais
Doutorando em Geografia
mqualidadeambiental@gmail.com

Jarbas Lima Dias Sampaio
Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Departamento de Geologia
jarbasdias@ufmg.br

Resumo

O conhecimento do meio físico é premissa básica para a compreensão das relações ambientais e para o ordenamento e planejamento do uso do solo em bacias hidrográficas. O Zoneamento Ambiental e Produtivo de bacias hidrográficas tem sido usado oficialmente em Minas Gerais, como instrumento de elaboração e acompanhamento de planos de adequação socioeconômica e ambiental. É composto das etapas de diagnóstico da disponibilidade hídrica, de levantamento do uso e de ocupação do solo e da definição de unidades de paisagem. No procedimento atual, as unidades de paisagem são delimitadas manualmente, exigindo conhecimento e experiência do técnico e deixando margem para interpretações subjetivas e para baixa reprodutibilidade. Assim, este trabalho teve como objetivo apresentar os critérios de ponderação de um método alternativo às unidades de paisagem, o mapeamento do Potencial de Uso Conservacionista (PUC). Este foi construído a partir dos componentes (1) solo, (2) litologia e (3) declividade que, respectivamente, foram ranqueados em função da (1) drenagem, fertilidade, textura e profundidade efetiva; (2) composição química e mineralógica e susceptibilidade à denudação; (3) critério da aptidão agrícola. Os pesos finais obtidos para os componentes do potencial de uso apresentaram valores coerentes com as observações empíricas do uso efetivo do solo no estado de Minas Gerais, indicando que o método pode ser usado como alternativa viável.

Palavras-chave: Zoneamento Ambiental e Produtivo, Potencial de Recarga Hídrica, Potencial de Uso Agropecuário, Potencial de Resistência à Erosão.

Abstract:

The knowledge of the physical environment is a basic assumption for the understanding of the environmental relations and for the ordering and planning of the land use on watersheds. The Environmental and Productive Zoning of watersheds has been used officially in Minas Gerais State as a tool for the building and the monitoring of socioeconomic and environmental adequation plans. Its steps are the diagnosis of the hydric availability, land use mapping and the landscape unit definition. In the current procedure, the landscape unit definition is manually made, which requires technical knowledge and experience, and leaves place for subjective interpretation and low reproductibility. This work presents the ponderation criteria for an alternative method, which aims to replace the manual delimitation of the landscape units, called the mapping of the conservative use potential. It was built upon the components "soil", "lithology" and "slope". The soil classes were ranked according to the drainage, to the fertility, to the texture and to the effective depth. The lithology classes were ranked according to the chemical and mineralogical composition and to the susceptibility to denudation. The slope classes were ranked according to the agricultural capability criteria. The final score values of the components of the use potential were coherent with the empirical observations of the present land use in the State, suggesting that the method may be used as a viable alternative.

Key-Words: Environmental and Productive Zoning, Hydric Recharge Potential, Agricultural Use Potential, Erosion resistance Potential.

Introdução

O conjunto das características físicas de determinada área deve ser a base primária para o planejamento de seu uso e de seu manejo adequado. Pinto (2007) ressalta que, para uma ocupação espacial qualquer, deve-se considerar o bem-estar coletivo humano, bem como o equilíbrio ambiental. A análise física do ambiente se apresenta então como premissa básica para a compreensão das relações de uso e ocupação do espaço e para o estabelecimento dos critérios de ocupação e uso desta área.

As análises ambientais, realizadas até a década de 70, possuíam um caráter majoritariamente econômico e os interesses eram pautados na proteção das atividades humanas, não trazendo, portanto, um viés ambientalista bem definido. Em decorrência da Conferência de Estocolmo em 1972 e dos postulados desse encontro, o direito ambiental foi consolidado e a visão puramente econômica foi ampliada, passando-se a adotar então, a preservação e melhoria da qualidade ambiental como princípio essencial para o bem-estar e para o direito à própria vida (LIRA, 2013).

No contexto brasileiro, a partir de então, as discussões relacionadas à análise ambiental giraram em torno do tema “recursos hídricos”, culminando, no ano de 1997, com a promulgação da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/1997) que declara a bacia hidrográfica como a unidade territorial de planejamento. Foram intensas, desde então, as pesquisas que buscaram desenvolver soluções metodológicas que possibilitem uma análise integrada desse espaço (SAATY e SODENKAMP, 2010).

Minas Gerais foi um dos precursores no estabelecimento de uma política estadual de recursos hídricos. Com grande diversidade biológica, física e socioeconômica, o estado abriga cinco grandes bacias hidrográficas, que drenam cerca de 90% do seu território: bacias dos rios São Francisco, Grande, Paranaíba, Doce e Jequitinhonha. A partir dos anos 2000, se intensificaram, nesse estado, a criação e fortalecimento dos comitês de bacias e sub-bacias hidrográficas, possibilitando a elaboração dos planos de recursos hídricos. Estes documentos têm como objetivo nortear a implementação da política nacional e estadual de recursos hídricos, além de propor as ações de gerenciamento dos recursos da bacia.

Assim, dentre as várias metodologias de análise ambiental de bacias hidrográficas que foram desenvolvidas (CHRISTOFOLETTI, 1969; ROSA 1996; SILVA e RODRIGUES, 2014), destaca-se o Zoneamento Ambiental e Produtivo de Sub-bacias hidrográficas (ZAP), adotado oficialmente em Minas Gerais. O ZAP nasceu como encaminhamento do Plano Estadual de Agricultura Irrigada de Minas Gerais – PAI/MG, na perspectiva de se tornar um instrumento de elaboração e acompanhamento de planos de adequação socioeconômica e ambiental na escala de sub-bacia hidrográfica. Foi desenvolvido pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD e pela Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento - SEAPA. Foi regulamentado pelo Decreto Estadual nº 46.650, de 19 de novembro de 2014, que o oficializa como a metodologia do Estado de Minas Gerais para análise de sub-bacias hidrográficas.

A aplicação do ZAP obedece a três grandes etapas: i. Diagnóstico da Disponibilidade Hídrica; ii. Levantamento do Uso e Ocupação; e iii. Definição de Unidades de Paisagem (SEMAD/SEAPA, 2016). Na terceira etapa é realizada a definição de unidades de paisagem, segundo método proposto por Fernandes et al. (2013). Neste, as unidades de paisagem são delimitadas manualmente, por meio da interpretação das curvas de nível, pelo responsável técnico, que usa seu conhecimento sobre a bacia, utilizando tais unidades para inferir sobre as características destas áreas. Esse método exige profundo conhecimento e experiência do técnico, tanto na delimitação das unidades de paisagem quanto no conhecimento da bacia onde este é aplicado, o que limita seu uso por parte de equipes sem estas competências e deixa margem para interpretações subjetivas e de difícil reaplicabilidade.

Com o objetivo de diminuir esta subjetividade e aumentar a replicabilidade do ZAP, este estudo buscou, através do uso de ferramentas de sistemas de informação geográfica e de técnicas de atribuição de pesos para ponderação, desenvolver um método alternativo à delimitação manual de unidades de paisagem. Neste método, é avaliado o Potencial de Uso Conservacionista (PUC) das áreas, por meio da ponderação de valores atribuídos às diferentes classes de solo, de litologia e de declividade, presentes nas bacias hidrográficas mineiras, assumindo-se que tais variáveis podem indicar o potencial de uso de uma dada área. Este é definido em função do potencial de recarga hídrica, do potencial para uso agropecuário e da resistência à erosão.

Materiais e Métodos

Para a identificação das classes de solos, das litologias e das declividades existentes no estado de Minas Gerais, foram utilizadas bases de dados oficiais disponíveis. Para as classes de solo utilizou-se como critério de segmentação o primeiro nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2013) e o mapa de solos de Minas Gerais em escala 1:650.000 (UFV et al., 2010). Para a identificação das classes litológicas, utilizou-se o mapa geológico de Minas Gerais, na escala 1:1.000.000 (CPRM, 2014). A variável declividade foi obtida a partir dos dados altimétricos do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission - USGS, 2000), utilizando-se os critérios de compartimentação do relevo propostos pela EMBRAPA (1979).

Os critérios de ponderação foram estabelecidos por meio de revisão de literatura, com o intuito de identificar e definir os atributos das variáveis “solo”, “litologia” e “declividade” disponíveis e que influenciam nos processos de recarga hídrica, no uso agropecuário e na resistência aos processos erosivos.

Após esta etapa foi realizada a atribuição das notas de acordo com a característica do atributo, finalidade e relevância de cada classe. As notas foram atribuídas com base na literatura científica em um intervalo de 1 a 5 para cada classe. As menores notas foram designadas às classes que possuem um potencial mais restritivo para o atributo em estudo.

Foi analisada a composição mineralógica das 76 litologias principais encontradas no estado. A atribuição de notas às diferentes litologias levou em consideração seu potencial de fornecimento de nutrientes e sua susceptibilidade aos processos do intemperismo. No primeiro caso, foi usado como elemento de quantificação o teor absoluto dos macroelementos essenciais às plantas, presentes em maior teor (Ca, Mg, K e P), assumindo-se que são liberados e disponibilizados durante o processo de alteração da rocha, conforme consulta à literatura (CLARK, 1924; SUN e BALDWIN, 1958; LE MAITRE, 1976; JAAP et al., 1988; ANDERSON, 1989; CONDIE, 1993; EVANGELISTA, 1996; RAPOSO, 1996; GAO et al., 1998; LINDSEY, 2000; RABE, 2003; KEMP et al., 2004; PONCE et al., 2005; CONCEIÇÃO et al., 2006; UKAEGBU et al., 2007; LUZ et al. 2008; NOVO et al. 2011; PIRES et al., 2014; CESARE et al., 2015; AGUIAR et al., 2016; FACHETTI et al., 2016; NAVARRO et al., 2017). No caso das rochas ígneas e de seus correspondentes metamórficos, foi também computado o teor de ferro, assumido como variável proxy para representar os micronutrientes nos minerais máficos. Foi feita uma média ponderada de seus teores e normalizado o valor final para o cômputo da nota. Considerando os poucos dados disponíveis em alguns casos ou a descrição genérica das rochas em outros, foram usados os dados de rochas similares quando necessário, como, por exemplo, nas rochas metabásicas, para as quais foram usados os dados de anfíbolito.

Para o cálculo da nota da resistência ao intemperismo e à denudação, foram levantados os principais minerais constituintes das rochas, pontuados conforme sua resistência ao intemperismo, conforme a série de estabilidade de Goldish publicada em 1938 e as características de tamanho de

cristais, cristalinidade e grau visibilidade dos mesmos (MACHADO et al., 2018). Foram atribuídas notas de um a cinco para cada atributo e, em seguida, feitas as médias para cada rocha. Procurou-se compatibilizar as escalas para as três classes de rochas, ígneas, metamórficas e sedimentares, de modo a se obter resultados compatíveis, uma vez que a série de estabilidade de Goldish é definida apenas para os minerais de rochas magmáticas ou metamórficas. Os valores foram obtidos de várias fontes, priorizando-se as descrições de rochas do Brasil, quando disponíveis.

A sequência de equações usadas nos cálculos segue abaixo:

$$V_{Nu}[x] = (T_{Ca}[x] + (T_{Mg}[x] \times 0,05) + (T_K[x] \times 0,1) + T_P[x] + T_{FeT}[x]) \quad (\text{Equação 01})$$

$V_{Nu}[x]$ = valor da nota de para fornecimento de nutrientes para a rocha [x]

$T_{Ca}[x]$ = teor de cálcio total (%) para a rocha [x]

$T_{Mg}[x]$ = teor de magnésio total (%) para a rocha [x]

$T_K[x]$ = teor de potássio total (%) para a rocha [x]

$T_P[x]$ = teor de fósforo total (%) para a rocha [x]

$T_{FeT}[x]$ = teor de ferro total (%) para a rocha [x] (*apenas para as rochas ígneas e suas equivalentes metamórficas*)

$$Vf_{Nu}[x] = 4 \times \left(\frac{V_{Nu}[x] - V_{Nu}[\text{Min}]}{V_{Nu}[\text{Max}] - V_{Nu}[\text{Min}]} \right) + 1 \quad (\text{Equação 02})$$

$V_{inu}[x]$ = valor ponderado da nota de para fornecimento de nutrientes para a rocha [x]

$V_{Nu}[x]$ = valor da nota de para fornecimento de nutrientes para a rocha [x]

$V_{Nu}[\text{Min}]$ = valor mínimo da nota de para fornecimento de nutrientes, considerando todas as rochas

$V_{Nu}[\text{Max}]$ = valor máximo da nota de para fornecimento de nutrientes, considerando todas as rochas

$$V_{E1}[x] = \frac{\sum_1^n \text{Mini}[x]}{n_i} \quad (\text{Equação 03})$$

$VE1 [x]$ = valor da nota 1 de estabilidade de minerais para a rocha [x]

$Mini [x]$ = valor da nota de estabilidade para o mineral “i”, para a rocha [x]

n_i = número de minerais da rocha [x]

$$V_{E2}[x] = \frac{(V_{Cr}[x] + V_{Tm}[x] + V_{Vi}[x])}{3} \quad (\text{Equação 04})$$

$V_{E2}[x]$ = valor da nota 2 de estabilidade de minerais para a rocha [x]

$V_{Cr}[x]$ = valor da nota de “Grau de cristalinidade” para a rocha [x]

$V_{Vi}[x]$ = valor da nota de “Grau de visibilidade” para a rocha [x]

$V_{Tm}[x]$ = valor da nota de “Tamanho dos cristais” para a rocha [x]

$$Vf_{Si}[x] = 4 \times \left(\frac{V_{Si}[x] - V_{Si}[\text{Min}]}{V_{Si}[\text{Max}] - V_{Si}[\text{Min}]} \right) + 1 \quad (\text{Equação 05})$$

$V_{iSi}[x]$ = valor ponderado da nota de teor de silício total para a rocha [x]

$V_{Si}[x]$ = teor de silício total (%) para a rocha [x]

$V_{Si}[\text{Min}]$ = valor mínimo do teor de silício total (%), considerando todas as rochas

$V_{Si}[\text{Max}]$ = valor máximo do teor de silício total (%), considerando todas as rochas

$$V_{RD}[x] = \frac{(V_{E1}[x] + V_{E2}[x] + Vf_{Si}[x])}{3} \quad (\text{Equação 06})$$

$V_{RD}[x]$ = valor de resistência à denudação para a rocha [x]

$V_{E1}[x]$ = valor da nota 1 de estabilidade de minerais para a rocha [x]

$V_{E2}[x]$ = valor da nota 2 de estabilidade de minerais para a rocha [x]

$V_{fSi}[x]$ = valor ponderado da nota de teor de silício total para a rocha [x]

$$V_{PA}[x] = \frac{(V_{RD}[x] + (Vf_{Nu}[x] \times 3))}{4} \quad (\text{Equação 07})$$

$V_{RD}[x]$ = valor de resistência à denudação para a rocha [x]

$V_{fNu}[x]$ = valor ponderado da nota de para fornecimento de nutrientes para a rocha [x]

$$Vf_{PA}[x] = 4 \times \left(\frac{V_{PA}[x] - V_{PA}[Min]}{V_{PA}[Max] - V_{PA}[Min]} \right) + 1 \quad (\text{Equação 08})$$

$V_{fPA}[x]$ = valor final da nota de Potencial Agropecuário para a rocha [x]

$V_{Si}[x]$ = valor da nota de Potencial Agropecuário para a rocha [x]

$V_{Si}[Min]$ = valor mínimo da nota de Potencial Agropecuário, considerando todas as rochas

$V_{Si}[Max]$ = valor máximo da nota de Potencial Agropecuário, considerando todas as rochas

As classes para a litologia foram classificadas conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Características das litologias e suas respectivas notas.

Denudação	Nota	Fertilidade	Nota
Vulnerabilidade muito baixa	1	Fertilidade muito baixa	1
Vulnerabilidade baixa	2	Fertilidade baixa	2
Vulnerabilidade média	3	Fertilidade média	3
Vulnerabilidade alta	4	Fertilidade alta	4
Vulnerabilidade muito alta	5	Fertilidade muito alta	5

Para a variável solos foram selecionados os seguintes atributos para a ponderação: “textura”, “drenagem”, “profundidade efetiva” e “fertilidade”. Para a recarga hídrica, foram escolhidos os atributos do solo “textura”, “drenagem” e “profundidade efetiva” (Tabela 2). As classes caracterizadas por favorecerem a infiltração e a percolação de água receberam maior peso. O potencial de recarga para cada solo foi obtido pela média simples desses três valores, normalizada para que a escala final ficasse no intervalo de 1 a 5.

Tabela 2 - Atributos do solo e suas respectivas notas atribuídas quanto ao potencial de recarga hídrica.

Textura	Nota	Drenagem	Nota	Profundidade efetiva (cm)	Nota
Siltosa	1	Mal drenado	1	Muito raso (< 25)	1
Muito argilosa com argila 2:1	1	Imperfeitamente drenado	2	Raso (25 a 50)	2
Média com argila 2:1	2	Moderadamente drenado	3	Moderadamente profundo (50 a 100)	3
Argilosa com argila 2:1	2	Bem drenado	4	Profundo (100 a 200)	4
Média	3	Excessivamente drenado	5	Muito Profundo (< 200)	5
Argilosa com argila 1:1	4				
Muito argilosa com argila 1:1	5				
Arenosa	5				

Em relação ao potencial de uso agropecuário, foram escolhidas as variáveis “drenagem”, “fertilidade” e “profundidade efetiva” (Tabela 3). A drenagem está relacionada à capacidade de suprimento de água e de oxigênio para as culturas. A fertilidade está relacionada à disponibilidade de nutrientes para os cultivos e a profundidade efetiva ao espaço para o desenvolvimento do sistema radicular e drenagem interna do perfil. O potencial de uso para cada solo foi obtido da média simples dos três valores, normalizada para que a escala final ficasse no intervalo de 1 a 5. Em classes de grande variabilidade de atributos, como os Cambissolos, foi considerado um valor “médio” para a classe, sendo, portanto, necessária uma avaliação caso a caso na interpretação dos resultados. O aumento da incerteza deve também ser considerado nestes casos.

Tabela 3 – Atributos do solo e suas respectivas notas atribuídas quanto ao potencial de uso agropecuário.

Drenagem	Nota	Fertilidade	Nota	Profundidade	Nota
Excessivamente drenado	1	Muito baixa	1	Muito raso (< 25)	1
Muito mal drenado	1	Baixa	2	Raso (25 a 50)	2
Fortemente drenado	2	Média	3	Moderadamente profundo (50 a 100)	3
Mal drenado	2	Alta	5	Profundo (100 a 200)	4
Imperfeitamente drenado	3			Muito Profundo (< 200)	5
Acentuadamente drenado	3				
Moderadamente drenado	4				
Bem drenado	5				

Em relação à resistência a erosão, foram atribuídas as maiores notas aos solos com textura argilosa e muito argilosa com argila do tipo 1:1, devido à elevada estabilidade dos agregados dos solos formados a partir deste tipo de material, que proporciona resistência à dispersão e maior infiltração de água no solo, ao passo que os solos com argilas 2:1 apresentam menor estabilidade (Tabela 4).

Tabela 4 – Notas atribuídas à textura do solo para a resistência à erosão.

Textura	Nota
Arenosa	1
Siltosa	2
Muito argilosa com argila 2:1	2
Argilosa com argila 2:1	2
Média com argila 2:1	2
Média com argila 1:1	4
Muito argilosa com argila 1:1	4
Argilosa com argila 1:1	5

No caso do componente relacionado ao relevo foram atribuídos os mesmos pesos para os potenciais de recarga de aquífero, de uso agropecuário e de resistência à erosão. Para a recarga hídrica foi considerado que a declividade tem uma relação direta com a velocidade de escoamento e o tempo de oportunidade de infiltração de água. Quanto maior a declividade, maior a velocidade da água e menor o tempo para a infiltração da água (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990). Além disso, a declividade afetará o tipo de fluxo do escoamento hídrico (laminar ou em sulco) e a sua direção (PEREIRA et al., 2003). Assim, o relevo montanhoso recebeu peso 1 e o relevo plano, peso 5, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Pesos atribuídos às classes de declividade.

Declividade (%)	Tipo de relevo	Peso
0 a 3	Plano	5
3 a 8	Suave Ondulado	4
8 a 20	Moderadamente Ondulado a Ondulado	3
20 a 45	Forte Ondulado	2
> 45	Montanhoso à Escarpado	1

Resultados e discussão

Os resultados dos valores de resistência à denudação das rochas e de fornecimento de nutrientes, assim como a nota final (pesos) do componente Litologia, são apresentados na Tabela 6. O ordenamento dos pesos (Figura 1) indica que os valores estão coerentes com as observações empíricas do comportamento das rochas do estado de Minas Gerais. Assim, rochas com elevada resistência à erosão e baixa capacidade de suprimento de nutrientes, como os quartzitos, receberam os menores pesos. As regiões dominadas por estas rochas, como a Serra do Espinhaço, apresentam cristas quartzíticas que resistiram a um longo período de exposição ao intemperismo, ao passo que seus solos associados, apresentam em geral baixa fertilidade, resultando em baixo potencial agropecuário e potencial mais adequado para fins de preservação ambiental.

Outra litologia que apresenta maior resistência ao intemperismo e baixa capacidade de suprimento de nutrientes são os arenitos, como os do Grupo Urucuia, que formam as chapadas do centro norte do estado. Neste caso, a limitação nutricional do material de origem é em parte compensada pela topografia plana, que possibilita a mecanização e o uso de fertilização química, resultando em regiões de potencial de uso conservacionista maior, desde que seja utilizada tecnologia apropriada.

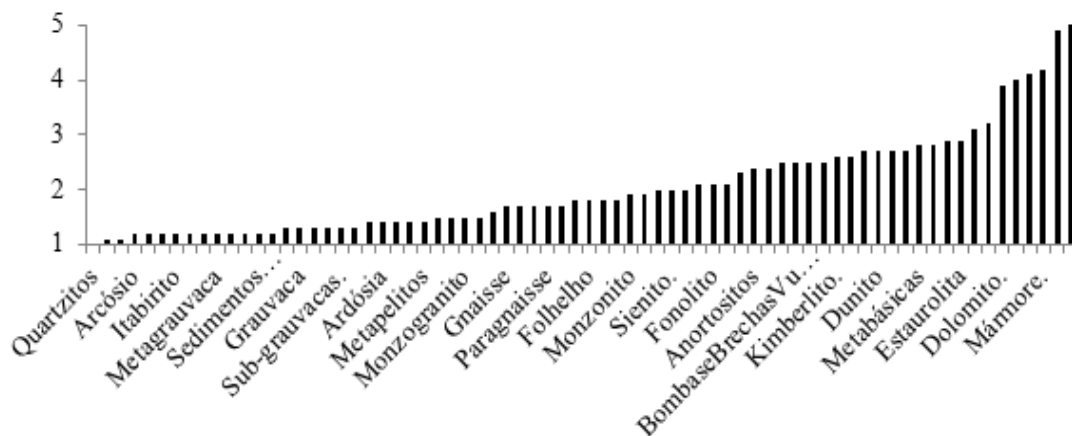
Tabela 6 - Valores intermediários e finais das notas da resistência à denudação e de fornecimento de nutrientes para as litologias principais.

Litologia	Nota para a resistência à denudação	Nota para fornecimento de nutrientes	Peso
Quartzitos	1	1	1
Arenito	1,1	1,1	1,1
Conglomerado	1,6	1	1,1
Arcósio	1,6	1,1	1,2
Diamictito	1,6	1,1	1,2
Fomação Ferrífera	2	1	1,2
Itabirito	1,7	1,1	1,2
Meta-arenitos	1,3	1,1	1,2
Metadiamictito	1,6	1,1	1,2
Metagrauvaca	1,6	1,1	1,2
Metassedimentos clásticos	1,4	1,1	1,2
Sedimentos Clásticos	1,4	1,1	1,2
Sedimentos Inconsolidados (colúvio alúvio e elúvio)	1,4	1,1	1,2
Siltito	2	1	1,2
Argilito	2,3	1	1,3
Grauvaca	1,6	1,2	1,3
Metassiltito,	1,9	1,1	1,3
Milonitos	1,9	1,2	1,3
Sub-grauvacas	1,5	1,2	1,3
Xisto	2,1	1,1	1,3
Agalmatolito	2,4	1	1,4
Ardósia	2,1	1,1	1,4
Filito	2,6	1,1	1,4
Meta-argilito	2	1,1	1,4
Metapelitos	2	1,1	1,4
Granito	1,7	1,4	1,5
Metaconglomerado	2,6	1,1	1,5
Monzogranito	1,8	1,4	1,5
Pelito	2,3	1,2	1,5
Quartzomonzonito	2,1	1,4	1,6
Gnaisse	1,8	1,6	1,7
Granodiorito	1,8	1,6	1,7
Ortognaisse	1,8	1,6	1,7
Paragnaissse	1,8	1,6	1,7
Quartzo-Diorito	2,3	1,4	1,7
Charnockito	2,1	1,7	1,8
Folhelho	1,8	1,7	1,8
NefelinaSienito	2,5	1,5	1,8
Riolito	3,2	1,3	1,8
Monzonito	2,3	1,7	1,9

Tonalito	2	1,9	1,9
Enderbito	1,8	2	2
Sienito	2,4	1,8	2
Traquito	3	1,6	2
Dacito	3	1,7	2,1
Fonolito	3,5	1,6	2,1
Granulito	2,1	2,1	2,1
Dionito	2,6	2,1	2,3
Anortositos	2,7	2,2	2,4
Rochas Ultramáficas Alcalinas	3,1	2,1	2,4
Andesito	3,5	2,1	2,5
Bombas e Brechas Vulcânicas	3,9	1,9	2,5
Metaultramáfica	2,8	2,3	2,5
Rocha Metaultramáfica	2,8	2,3	2,5
Kimberlito	4,3	1,9	2,6
Peridotito	3,1	2,2	2,6
Anfibolito	2,5	2,7	2,7
Dunito	3,7	2,2	2,7
Gabro	2,9	2,5	2,7
Migmatitos	2,4	2,6	2,7
Metabásicas	2,6	2,7	2,8
Metavulcânica	2,6	2,7	2,8
Diabásio	3,6	2,6	2,9
Estauroлита	3	2,7	2,9
Basalto	4,1	2,6	3,1
Piroxenito	3,1	3	3,2
Dolomito	4,9	3,4	3,9
Evaponito	5	3,4	4
Calcário	4,6	3,6	4,1
Mámore	4,2	3,9	4,2
Calcisto	3,6	5	4,9
Marga	3,9	5	5

Por outro lado, rochas de baixa resistência ao intemperismo e grande potencial de suprimento de nutrientes, como os calcários, receberam os maiores pesos. A região mais importante desta litologia no estado, onde se localizam os calcários da Formação Sete Lagoas do Grupo Bambuí, apresenta o relevo cárstico característico, onde a dissolução acelerada dos carbonatos proporciona o surgimento de feições como dolinas e uvalas. Nos locais onde os calcários são aflorantes, são encontrados solos de fertilidade natural elevada e grande potencial agropecuário. Como estas rochas estão em grande medida recobertas pelas rochas pelíticas da Formação Serra de Santa Helena, que está no grupo de baixo potencial, grandes contrastes de potencial podem ser encontrados nestas áreas. Outras litologias importantes, com material parental de solos de grande potencial agropecuário, são as rochas máficas e vulcânicas, como os basaltos e os tufitos. Solos derivados dessas rochas podem ser encontrados nos derrames basálticos da Formação Serra Geral do Grupo São Bento, no Triângulo Mineiro, e nos tufitos do Grupo Mata da Corda, na região do Alto Paranaíba. Em ambos os casos, são áreas de grande potencial agropecuário, representando inclusive duas das mais importantes áreas agrícolas do estado.

Figura 1 – Ordenamento crescente dos pesos do componente “Litologia” quanto ao potencial de uso conservacionista.



Há uma distribuição assimétrica das frequências dos pesos, no sentido de menor potencial agropecuário, o que está em consonância com o que ocorre na maior porção do estado, com grandes extensões de área com baixo potencial agropecuário. Ressalte-se que, mesmo as rochas com potencial mais alto de fornecimento de nutrientes podem resultar em solos de potencial mais baixo, se as condições gerais de intemperismo, encontradas no clima tropical úmido predominante no estado, levarem à progressiva lixiviação dos mesmos. A classificação gerada estabelece apenas o potencial em função do material de origem, não a disponibilidade efetiva de nutrientes.

Os resultados dos valores de pesos das classes de solos quanto ao potencial de recarga hídrica, quanto ao potencial de uso agropecuário e quanto à sua resistência à erosão são apresentados nas Tabelas 7, 8 e 9. O resultado final do peso para o componente Solo é apresentado na Tabela 10, e o ordenamento das classes em função do peso é apresentado na Figura 2.

Observa-se que os principais solos para recarga hídrica são os Latossolos e o Nitossolos (Tabela 7), por suas características físicas e morfológicas mais favoráveis ao processo de percolação da água. As áreas com relevo plano a suave ondulado, com estes solos, são as naturalmente mais indicadas para recarga, e seu uso deve levar em consideração a manutenção destas características. Áreas com solos com argilas expansivas 2:1, como os Vertissolos, por outro lado, têm baixo potencial de recarga, mesmo em relevo plano, por sua baixa condutividade hidráulica. Algumas classes possuem uma variabilidade muito alta, como os Cambissolos e os Neossolos, e o resultado é um valor médio, que exige uma avaliação mais detalhada de cada caso, para fins de planejamento.

Tabela 7 – Valores de pesos das classes de solos quanto ao potencial de recarga hídrica

Classe de solo	Textura	Nota	Drenagem	Nota	Profundidade efetiva	Nota	Peso
Vertissolo	Argilosa a muito argilosa 2:1	1,5	Imperfeitamente a mal drenado	1,5	Raso a profundo	3	2,0
Planossolo	Argilosa a muito argilosa 2:1	1,5	Imperfeitamente a mal drenado	1,5	Moderadamente profundo a profundo	3,5	2,2
Gleissolo	Argilosa a muito argilosa	2,5	Mal drenado	1	Moderadamente profundo a profundo	3,5	2,3
Luvissolo	Média a muito argilosa 2:1	1,5	Moderadamente a imperfeitamente drenado	2,5	Raso a profundo	3	2,3
Organossolo	Arenosa a muito argilosa	3	Mal drenado	1	Raso a profundo	3	2,3
Plintossolo	Média a muito argilosa	2	Imperfeitamente a mal drenado	1,5	Moderadamente profundo a profundo	3,5	2,3
Chernossolo	Média a argilosa 2:1	2	Moderadamente a imperfeitamente drenado	2,5	Raso a profundo	3	2,5
Neossolo	Arenosa a muito argilosa	3	Bem a mal drenado	2,5	Muito raso a profundo	2,5	2,7
Cambissolo	Arenosa a muito argilosa	3	Moderadamente drenado	3	Raso a profundo	3	3
Espodossolo	Arenosa	5	Mal drenado	1	Raso a profundo	3	3
Argissolo	Média a muito argilosa 1:1	4	Bem a moderadamente drenado	3,5	Moderadamente profundo a profundo	3,5	3,7
Latossolo	Média a muito argilosa 1:1	4	Excessivamente a bem drenado	4,5	Muito profundo a profundo	4,5	4,3
Nitossolo	Argilosa a muito argilosa 1:1	4,5	Bem drenado	4	Muito profundo a profundo	4,5	4,3

O potencial de uso agropecuário, apresentado na Tabela 8, foi computado considerando as necessidades da maioria das culturas comerciais. Assim, o resultado indica os solos com menores limitações ao uso agropecuário em geral, mas pode não se aplicar a casos específicos. O solo de maior potencial é o Nitossolo, seguido do Latossolo, sendo este último a classe de solo dominante no estado de Minas Gerais. Enquanto algumas classes de elevado potencial, como os Chernossolos e os Luvissolos, ocupam uma área muito pequena. Outros solos importantes, em termos de extensão territorial, são os Cambissolos e os Neossolos. Estas classes apresentam, em geral, baixo potencial, mas com grande variabilidade de comportamento entre as suas subclasses, como, por exemplo, entre os Neossolos Litólicos e os Neossolos Quatzarênicos. Os primeiros são muito limitados pela baixa profundidade efetiva, que não é limitante nos segundos. Ressalta-se que a limitação de fertilidade pode ser corrigida por meio de uso de insumos adequados, como fertilizantes e corretivos, mas as características de drenagem interna e profundidade efetiva em geral não podem ser alteradas com as práticas agrícolas usuais.

Tabela 8 - Valores de pesos das classes de solos quanto ao potencial de uso agropecuário.

Classe de solo	Drenagem	Nota	Fertilidade	Nota	Profundidade efetiva	Nota	Peso
Espodossolo	Mal drenado	1	Muito baixa	1	Raso a profundo	1,7	1
Organossolo	Mal drenado	1	Muito baixa	1	Raso a profundo	1,7	1
Neossolo	Bem a mal drenado	2,5	Média	1	Muito raso a profundo	2	1,6
Gleissolo	Mal drenado	1	Baixa	2	Moderadamente profundo a profundo	2,2	1,9
Plintossolo	Imperfeitamente a mal drenado	1,5	Baixa	2	Moderadamente profundo a profundo	2,3	2,2
Planossolo	Imperfeitamente a mal drenado	1,5	Média	3	Moderadamente profundo a profundo	2,7	2,8
Cambissolo	Moderadamente drenado	3	Média	3	Raso a profundo	3	3,5
Vertissolo	Imperfeitamente a mal drenado	1,5	Alta	5	Raso a profundo	3,2	3,8
Argissolo	Bem a moderadamente drenado	3,5	Média	3	Moderadamente profundo a profundo	3,3	4,1
Chernossolo	Moderadamente a imperfeitamente drenado	2,5	Alta	5	Raso a profundo	3,5	4,4
Luvissole	Moderadamente a imperfeitamente drenado	2,5	Alta	5	Raso a profundo	3,5	4,4
Latossolo	Excessivamente a bem drenado	4,5	Baixa	2	Muito profundo a profundo	3,7	4,7
Nitossolo	Bem drenado	4	Média	3	Muito profundo a profundo	3,8	5

A nota de resistência à erosão foi condicionada pela textura e apontou os solos com textura argilosa ou muito argilosa, com argilas do tipo 1:1, como os mais resistentes à erosão. Neste caso, os Espodossolos, por apresentarem textura do tipo areia e/ou areia franca, foram os solos de potencial mais baixo (Tabela 9). Sua ocorrência restrita no estado, entretanto, reduz sua limitação a áreas muito pontuais, como em algumas áreas de veredas. A classe dos Neossolos Quartzarênicos apresenta características granulométricas similares aos Espodossolos, mas, como não foi feito o desdobramento em subclasses neste trabalho, foi considerada uma nota média para a classe dos Neossolos. Ainda assim, esta classe apresentou potencial baixo para este componente.

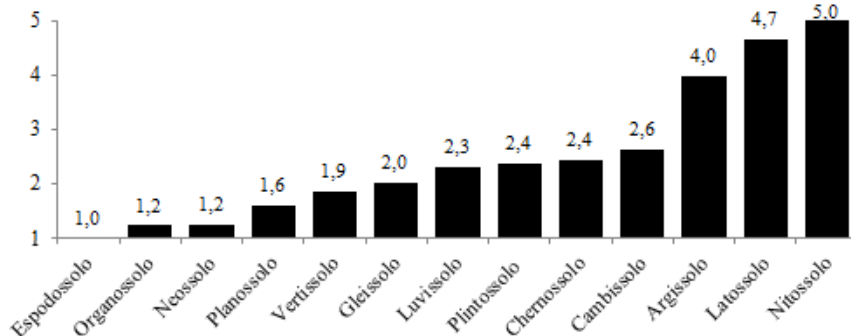
Tabela 9 – Valores de pesos das classes de solo quanto à sua resistência à erosão

Classe de solo	Textura	Peso
Espodossolo	Arenosa	1
Neossolo	Arenosa a muito argilosa	1,5
Vertissolo	Argilosa a muito argilosa 2:1	2
Chernossolo	Média a argilosa 2:1	2
Luvissolo	Média a muito argilosa 2:1	2
Planossolo	Argilosa a muito argilosa 2:1	2
Cambissolo	Arenosa a muito argilosa	2,5
Organossolo	Arenosa a muito argilosa	2,5
Gleissolo	Argilosa a muito argilosa	3,5
Argissolo	Média a muito argilosa 1:1	4
Latos solo	Média a muito argilosa 1:1	4
Plintossolo	Média a muito argilosa 1:1	4
Nitossolo	Argilosa a muito argilosa 1:1	4,5

Tabela 10 – Valores finais dos pesos das classes de solo para o potencial de uso conservacionista.

Classe de solo	Média dos pesos	Peso ajustado
Espodossolo	1,6	1
Neossolo	1,8	1,2
Organossolo	1,8	1,2
Planossolo	2,1	1,6
Vertissolo	2,3	1,9
Gleissolo	2,5	2
Luvissolo	2,7	2,3
Chernossolo	2,8	2,4
Plintos solo	2,7	2,4
Cambissolo	3	2,6
Argissolo	4,1	4
Latos solo	4,7	4,7
Nitossolo	5	5

Figura 2 – Ordenamento crescente dos pesos da variável “Solos” quanto ao Potencial de Uso Conservacionista.



É possível observar que três grupos se destacam. O primeiro é formado pelos Nitossolos, Latossolos e Argissolos e representa as classes de maior potencial. O segundo, por Cambissolos, Chernossolos, Plintossolos e Luvissoles e o terceiro composto pelas demais classes, com menor potencial de uso conservacionista. Este ordenamento indica que os resultados são coerentes com as observações e as classificações usuais destes solos, em termos de aptidão agrícola, conforme Ramalho e Beek (1994), e com o uso efetivo destes solos. As três primeiras classes são de fato as mais usadas para a atividade agropecuária, tanto por sua aptidão quanto por sua extensão (34% da área total de solos do estado) (UFV et al., 2010), ao passo que as últimas, em geral, têm área pequena e uso limitado (7% da área total de solos).

Considerações finais

O uso de ponderação por meio de critérios técnicos objetivos, na avaliação do potencial de uso conservacionista, reduz os componentes subjetivos e permite a automação e a reprodutibilidade do método. Permite também o aperfeiçoamento e a atualização do sistema, na medida em que as bases de dados sejam aprimoradas. Desta forma, todo o sistema pode ser usado e avaliado de forma transparente e simples, gerando maior confiança em seus resultados e maior facilidade de interpretação.

Referências Bibliográficas

- AGUIAR, M. C.; SILVA, A. G. P.; GADIOLI, M. C. B. Caracterização de resíduo de mármore para fabricação de rocha artificial. Anais... 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Natal, p. 939-950, 2016.
- ANDERSON, D. L. Theory of the Earth. Boston: Blackwell Scientific Publications, 1989. Pgs 147 -177.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo. Piracicaba: Livrocetes, 1990.
- BOWEN, N.L. The evolution of the igneous rocks. Princeton, Princeton University Press, 1928.
- CESARE, B; ACOSTA-VIGIL, A; BARTOLI, O; FERRERO, S. What can we learn from melt inclusions in migmatites and granulites? Lithos, Amsterdam, v. 239, p. 186–216, Dezembro de 2015.
- CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. Notícia Geomorfológica, v. 9, n. 18, p. 35-64, 1969.
- CLARKE, F. W. The data of geochemistry. Report Bulletin. Washington: U.S. Government Printing Office, 1924, p. 770.
- CONCEIÇÃO, F. T.; BONOTTO, D. M. Dose de exposição radiométrica e composição das rochas sedimentares e ígneas na bacia do rio Corumbataí (SP). Revista Brasileira de Geofísica, São Paulo, v. 24, nº.1, p. 37-48, Março de 2006.
- CONDIE, K. C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. Chemical Geology, Amsterdam, v. 104, p. 1-37, 1993.
- DALY, R. A.A. Igneous rocks and the depths of the Earth. New York, McGraw – Hill, 1933.
- DON, L. A. Theory of the Earth. Blackwell Scientific Publications, Boston, p. 147 -177, 1989.
- EVANGELISTA, H. J. Igneous charnockites in the southeastern transition zone between the São Francisco craton and the Costeiro mobile belt, Brazil. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 26, nº. 2, p. 93-102, junho de 1996.
- FACHETTI, F. J. S.; COSTA, A. C. D. da; SILVA, C. H. da. Magmatismo cálcio-alcalino Calimiano no embasamento do Terreno Jauru (Província Rondoniana – San Ignacio), Cráton Amazônico: geoquímica e geocronologia Sm-Nd E U/Pb. Brazilian Journal of Geology, São Paulo, v. 46, nº. 1, p. 109-128, março de 2016.
- FERNANDES, M. R. et al. Minas Gerais: caracterização de unidades de paisagem. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2013. 92 p.
- GAO, S., LUO, T.-C., ZHANG, B.-R., ZHANG, H.-F., HAN, Y.-W., ZHAO, Z.-D. HU, Y.-K. Chemical composition of the continental crust as revealed by studies in East China. Geochimica et Cosmochimica Acta, Amsterdam, v. 62, p. 1959-1975, junho de 1998.
- GOLDICH, S. S. A study in rock weathering. Journal of Geology. v. 46, nº 1, p. 17–58, 1938.
- JAAP, PAUL M.; TAUFEN, SIMON P. VRIEND. An Application of Litho-geochemistry to the Evaluation of the Ni-sulphide Ore Potential of Weathered Serpentinities in the Fortaleza de Minas Greenstone Belt, Minas Gerais, Brazil. Journal of Geochemical Exploration, v. 31, p. 57-73, 1988.
- KEMP, A.I.S.; HAWKESWORTH, C.J. Granitic Perspectives on the Generation and Secular Evolution of the Continental Crust. In: HOLLAND, H.D.; TUREKIAN, K.K. Treatise on geochemistry. Amsterdam: Elsevier, v. 3, 2003, p. 349-410.
- LE MAITRE, R.W. The chemical variability of some common igneous rocks. Journal of Petrology, Oxford, v. 17, p. 589-637, Novembro de 1976.
- LINDSEY, D. A. Petrology of Arkosic Sandstones, Pennsylvanian Minturn Formation and Pennsylvanian and Permian Sangre de Cristo Formation, Sangre de Cristo Range, Colorado--Data and Preliminary Interpretations. Washington: U.S. Government Printing Office, 2000, p. 41.
- LIRA, W.S.; CÂNDIDO, GA. Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa. Campina Grande: EDUEPB, 2013, 325p.
- LUZ, A. P.; TOMEDI, P; MARTINS, R. Agalmatolito. In: Luz, A. P.; LINS, F. A. F. Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. p. 69 -78.
- MACHADO, F.B.; MOREIRA, C.A.; ZANARDO, A; ANDRE, A.C.; GODOY, A.M.; FERREIRA, J. A.; GALEMBECK, T.; NARDY, A.J.R.; ARTUR, A.C.; OLIVEIRA, M.A.F.DE. Enciclopédia Multimídia de Minerais. [on-line]. ISBN: 85-89082-11-3 Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.rc.unesp.br/museudpm>. Arquivo capturado em 08 de abril de 2018.
- NAVARRO, G. R. B. et al. Proveniência dos metassedimentos do grupo Araxá na região de Caldas Novas, Goiás. Geociências, São Paulo, v. 36, nº. 2, p. 395 - 413, 2017.
- NOVO, T. A. et al. Rochas granulíticas da Suíte Caparaó na região do Pico da Bandeira: embasamento oriental do Orógeno Araçuaí. Geonomos, Belo Horizonte, v. 19, nº.2, p. 70-77, 2011.
- OOSTINDIER, J.; TAUFEN, P. M.; VRIEND, S. P. An Application of Litho-geochemistry to the Evaluation of the Ni-sulphide Ore Potential of Weathered Serpentinities in the Fortaleza de Minas Greenstone Belt, Minas Gerais, Brazil. Journal of Geochemical Exploration, Amsterdam, v. 31 p. 57-73, Dezembro de 1988.

- PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D., e MATOS, A. D. Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 423-429, 2003.
- PINTO, J. F.; STEFFENS, J. L.; OLIVEIRA, F.H. Análise físico-ambiental urbana da Microbacia do Rio Itacorubi, Florianópolis – SC, visando o uso de Spftware SIG. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13^o edição, 2007, Florianópolis. Anais. [florianópolis]: 2007. P. 3011 -3018.
- PIRES E SOUZA, A.A. et al. Estudos geoquímicos de itabiritos da Serra do Sapo, Espinhaço Meridional, Minas Gerais. *Geonomos*, 22(2), 1-17, 2014.
- PONCE, M. B.; GAMBAUDO, P. S. Capítulo V Las rocas carbonáticas. In: *Minerales para la Agricultura en Latinoamérica*. 2005. Disponível em: <<https://intranetua.uantof.cl/salares/parte4-Carbonatos.pdf>>; <http://www.unsam.edu.ar/publicaciones/tapas/cyted/parte1.pdf>>. Acesso em 14 jan. 2018.
- RABE, Claudio. Estudo experimental da interação folhelho-fluido através de ensaios de imersão. 2003, 286 f. Tese (Doutorado). Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo, SP.
- RAMALHO FILHO, A. BEEK, K.J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola de terras. 3^a. Ed. Revisada. Rio de Janeiro, Embrapa – CNPS. 1994. 65 p.
- RAPOSO, F. O. Formações ferríferas e metassedimentos químicos de áreas selecionadas do Quadrilátero ferrífero e suas relações com níveis rudáceos. 1996, 71f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- SAATY, T. L.; SODENKAMP, M. The analytic hierarchy and analytic network measurement processes: the measurement of intangibles. *European Journal of Pure and Applied Mathematics*, New York, v. 1, n 1, p, 91-166, 2010.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3^a ed. revisada e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 2013, 353p.
- SECRETARIA DO ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL/ SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – SEMAD/SEAPA. Metodologia para Elaboração do Zoneamento Ambiental Produtivo: ZAP de sub-bacias hidrográficas. 2^a Edição, 2016. Disponível em: <http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2016/ZAP/Metodologia_ZAP_-_2_edicao.pdf>. Acesso em 03 de mai. 2018.
- SUN, Ming-Shan; BALDWIN, Brewster. Volcanic Rocks of the Cienega Area, Santa Fe County, New Mexico. Bulletin 54. State Bureau of Mines and Mineral Resources New Mexico Institute of Mining & Technology Campus Station Socorro, New Mexico, 1958, p. 90.
- UKAEGBU, V.U.; BEKA, F.T. Petrochemistry and geotectonic significance of enderbite-charnockite association in the Pan-African Obudu plateau, southeastern Nigeria. *Journal of Mining and Geology*, v. 43, n^o.1, p. 1 – 14, 2007.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA; FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS; UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Mapa de solos do Estado de Minas Gerais: legenda expandida. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49p.
- USGS - United States Geological Survey. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) - 1 Arc-Second Global. Disponível em: < <https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 03 fev. 2018.