



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**Universidade Federal de Alfenas / UNIFAL-MG**  
**Programa de Pós-graduação – Ciências Ambientais**

Rua Gabriel Monteiro da Silva, 714. Alfenas - MG CEP 37130-000  
Fone: (35) 3299-1379(Coordenação) / (35) 3299-1392 (Secretaria)  
<http://www.unifal-mg.edu.br/ppgca/>



**PAULA AMÉLIA ZANINI MARLIERI**

**Análise da restauração de áreas de campo de altitude com gramínea**  
***Aristida sp.* após lavra de bauxita.**

Alfenas  
Julho de 2018.

**PAULA AMÉLIA ZANINI MARLIERI**

**Análise da restauração de áreas de campo de altitude com gramínea *Aristida*  
*sp.* após lavra de bauxita.**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: tecnologias ambientais aplicadas.

Orientador: Romero Francisco Vieira Carneiro

Alfenas  
Julho de 2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas

Marlieri, Paula Amélia Zanini.

M348a Análise da restauração de áreas de campo de altitude com gramínea  
*Aristida sp.* após lavra de bauxita. / Paula Amélia Zanini Marlieri –  
Alfenas/MG, 2018.  
70 f.: il. --

Orientador: Romero Francisco Vieira Carneiro.

Dissertação (Mestrado em Ciência Ambientais) – Universidade Federal  
de Alfenas, 2018.

Bibliografia.

1. Mineração a céu aberto. 2. Altitude. 3. Recuperação ecológica. 4.  
Fertilidade do solo. 5. Gramínea. I. Carneiro, Romero Francisco Vieira. II.  
Título.

CDD- 333.72

Ficha Catalográfica elaborada por Fátima dos Reis Goiatá  
Bibliotecária-Documentalista CRB/6-425

**PAULA AMÉLIA ZANINI MARLIERI**

**Análise da restauração de áreas de campo de altitude com gramínea *Aristida*  
*sp.* após lavra de bauxita.**

A Banca examinadora abaixo-assinada, aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: tecnologias ambientais aplicadas.

Orientador: Romero Francisco Vieira Carneiro

Aprovada em:

Profº.Romero Francisco Vieira Carneiro

Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

Profº.Dr. Jean Marcel Souza Lira

Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

Profº. Dr. Antnio Marciano da Silva Marcel

Souza Lira

Instituição: Universidade Federal de Lavras

Assinatura:

Dedico,

Ao meu pai e minha mãe.

Ofereço,

A minha mãe, Giovanni e meus irmãos.

## **AGRADECIMENTOS**

**Agradeço,**

A Deus e a toda espiritualidade amiga.

Aos meus pais, a minha gratidão por terem me dado a vida, por me darem a oportunidade de nascer nesta família, que é a minha e que é a melhor que poderia ter tido. Grata pelo amor incondicional, pela minha criação e por serem meus exemplos de determinação, superação e por me fazerem acreditar que o mundo pode me dar infinitas possibilidades!

Ao Deus que habita em mim, e que me faz descobrir e desvendar o quanto sou capaz de realizar tudo aquilo que eu desejo, diariamente!

Ao universo e a energia que expande minha mente em busca do novo.

Ao Giovanni, meu grande companheiro de vida, e que nesta caminhada foi o meu apoio incondicional, compreendeu o meu tempo, o processo de conquista e amadurecimento. Deu o seu amor incondicional todos os dias!

Ao meus irmãos, sobrinhos e sobrinha, cunhadas, enteadas .... essa família é muito unida e também muito ouriçada .... a melhor família do mundo!!!

Ao Carlos, meu agradecimento mais do que especial, meu amigo de todas as horas e trabalhador incansável. Gratidão enorme pela sua dedicação e cuidado que teve com este trabalho! Não fique triste porque acabou, muitos outros virão! O resultado desta conquista divido com você!

As minhas queridas amigas.....sem vocês essa caminhada seria bem mais pesada, vocês são minha fonte de diversão e momentos engraçados. Agradecimento especial para Lulu que me acolheu em seu lar com tanto amor e carinho todas as vezes que estive em Alfenas. Alent (Lílian), Lulu (que está no mesmo barco...), Leiloca e Val! Mulheres fantásticas!!!

A toda equipe que trabalha na recuperação das áreas mineradas da Alcoa, vocês são o início de tudo, a primeira semente a ser plantada e sem vocês nada acontece! Obrigada ao Sr. João Fernandes, Renato, Donizeti, Ditinho, Dito, Aparecido, Odair e Rovilson.

Aos meus amigos da CGM, meu agradecimento especial: André Teixeira, Leonardo Barbosa, Letícia Vieira, Eber Vieira, Stéphanou Ridolfi.

Ao Paulo Zanatta, agradeço por ter plantado a primeira semente que me despertou para este estudo!

Ao Don Willians, que foi o precursor e fonte de inspiração a todos que passam pela mineração da Alcoa em Poços. Grata pelo seu legado espero que este trabalho faça parte dele!

Ao Henrique Mendonça pela compreensão da importância deste trabalho, e por todo suporte que foi necessário!

A toda liderança da Alcoa Mining, em especial a Heloisa Ruggeri pelo reconhecimento do trabalho!

Ao Walmer Rocha que na sua liderança compreendeu a importância deste estudo para a sustentabilidade da operação da Alcoa Poços! Muito obrigada pelo seu apoio e reconhecimento!

A Alcoa pelo apoio, suporte, por acreditar na pesquisa, e entender que este é o caminho para avançar e alçar voos inéditos! Assim se faz a inovação!

Ao meu co-orientador José Neto pelas tardes em campo e pela ajuda até o último minuto, pelas conversas sem pretensão, que foram as mais importantes. Ainda vamos tomar aquela cerveja para comemorar....

Ao meu orientador Romero, pela confiança, paciência e calma que conduziu todo o trabalho. Espero que essa tenha sido a primeira pesquisa de muitas outras.

Aos professores Marciano e Jean pelas suas sábias e importantes colaborações!

A banca que conduzirá este trabalho para o seu melhor!

A todos que de alguma forma foram essenciais para que este trabalho acontecesse! A todas as energias que me conduziram até aqui!

Você energiza tudo aquilo que dá atenção! (Deepak Chopra)

A consciência de uma planta no meio do inverno não está voltada para o verão que passou, mas para a primavera que irá chegar. A planta não pensa nos dias que já foram, mas nos que virão. Se as plantas estão certas de que a primavera virá, por que nós – os humanos – não acreditamos que um dia seremos capazes de atingir tudo o que queríamos?”

(Khalil Gibran, 1915)

## RESUMO

A mineração é uma das atividades antrópicas mais impactantes aos recursos naturais, e que afeta profundamente a resiliência dos ecossistemas terrestres. Muitas áreas mineradas não são efetivamente recuperadas a ponto de restabelecer parte relevante da biodiversidade e dos serviços ambientais. Assim, o objetivo geral desse estudo foi de avaliar os atributos do solo, perda de solo e cobertura vegetal de campos altimontanos, por meio de análises químicas, físicas, de porcentagem de cobertura vegetal e perda de solo em áreas submetidas a estratégia de restauração de Campos de Altitude da Alcoa Corp. em Poços de Caldas – MG. As áreas foram submetidas a restauração utilizando a espécie de gramínea *Aristida sp.* em diferentes períodos de estabelecimentos – 2011, 2012, 2013, 2015 e duas áreas de referência: uma aberta e uma nativa (sem intervenções minerárias). Foram coletadas amostras de solo, perfazendo um total de 15 repetições por área amostral para análise em laboratório de parâmetros físico-químicos, porosidade e densidade, além da avaliação do percentual de cobertura vegetal. Doze parcelas de monitoramento foram instaladas em pontos representativos, 2 parcelas com declividade de 0-20% e 20-40% em cada idade de plantio e 2 em cada uma das áreas referências, onde destas foram retiradas amostras para ensaio de condutividade hidráulica, forneceram dados de precipitação e perda de solo. Os tratamentos estatísticos consistiram na análise de componentes principais (PCA) para selecionar variáveis com maior porcentagem de variância de cada componente e depois foram submetidas a análise de regressão através de modelos lineares generalizados (glm) para determinação do comportamento das variáveis em função do tempo foram utilizadas regressões lineares e quadráticas. Os resultados mostraram que quanto maior o tempo de restauração, mais as áreas podem se aproximar da área referência nativa na perda de solo e cobertura vegetal.

*Palavras-chave: Mineração a céu aberto. Campo de altitude. Restauração ecológica. Atributos do solo. Aristida sp..*

## ABSTRACT

Mining is one of the human activities that has major impacts over the natural resources and that highly affects the ecosystems' resilience. Many mining areas are not effectively rehabilitated to re-establish a relevant part of their biodiversity and environmental services. Thus, the main goal of this study was to evaluate the soil traits, soil loss and vegetation of altitude grasslands, through chemical, physical analysis, percentage of vegetation cover, and soil loss in areas under the recovery strategy of Altitude Grasslands from Alcoa Corp. in Poços de Caldas - MG. The areas were submitted to recovery with the grass species *Aristida* sp. in different periods - 2011, 2012, 2013, 2015 - and in two different areas of reference: one opened area and another with native vegetation (without mining intervention). Soil samples were collected, with a total of 15 recurrent samples for each sample area, in order to analyse the physical and chemical parameters, porosity and density in a laboratory, and evaluate the percentage of vegetation cover. Twelve monitoring plots were installed in representative points: two with 0-20% and 20-40% slopes in each planting age and two in each one of the reference areas. From them, samples were gathered to hydraulic conductivity tests, that could provide precipitation and soil loss data. The statistical analyses were performed with Principal Component Analysis (PCA) to select the variables with higher percentage of variance of each component. Afterwards, they were submitted to a linear regression analysis through General Linear Model (GLM), and, in order to determine the behaviour of the variable across time, linear and squaring functions were used. The results indicated that the longer the recovery time, the closer the areas can be from the reference native area in vegetation cover and soil loss.

*Key words: Strip mining. Altitude fields. Ecological restoration. Soil attributes. Aristida sp..*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa litológico da área de estudo.....	31
Figura 2	Localização das áreas de estudo.....	35
Figura 3	Mapa de declividade da área de estudo com áreas de diferentes idades que passaram pelo .....	37
Figura 4	Mapa de classificação do solo das áreas de diferentes idades que foram submetidas a .....	38
Figura 5	Sequência de semeadura do capim <i>Aristida</i> sp. ....	40
Figura 6	Esquema das parcelas de monitoramento das perdas de solo e água. ...	43
Figura 7	Curvas de calibração das caixas de coleta. ....	44
Figura 8	Croqui representativo da metodologia adaptada de Stocking (1994) para análise da cobertura .....	45
Figura 9	Distribuição da correlação das diferentes idades avaliadas pelo Teste de $\cos^2$ .....	47
Figura 10	Correlações com as componentes principais para atributos químicos e físicos do solo, em.....	49
Figura 11	Regressões ajustadas para o pH, C, N, P, S do solo na profundidade de 0-20 cm em.....	51
Figura 12	Regressões ajustadas do Ca, Mg, K, Al e H+Al do solo na profundidade de 0-20 cm em.....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Classes de relevo do município de Poços de Caldas.....	32
Tabela 2	Base de dados para caracterização geral da área de estudo. ....	34
Tabela 3	Detalhamento de ações de manejo e perturbações ocorridas nas áreas que receberam o .....	36
Tabela 4	Parâmetros físicos do solo avaliados nas áreas recuperadas, aberta e nativa.....	48
Tabela 5	Atributos químicos e cobertura vegetal do solo que melhor explicam a diferença e.....	48
Tabela 6	Perdas de solo e escoamento superficial direto para as áreas estudadas. .....	54
Tabela 7	Porcentagem de cobertura vegetal e ações antrópicas.....	56

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
2	<b>OBJETIVO</b> .....	17
2.1	<b>Objetivos específicos</b> .....	17
3	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	18
3.1	<b>O planalto de Poços de Caldas</b> .....	18
3.1.1	Histórico de extração de bauxita e o início da recuperação de áreas mineradas em Poços de Caldas.....	19
3.2	<b>Mineração no Brasil</b> .....	20
3.2.1	Aspectos sócio econômicos.....	20
3.2.2	Aspectos Ambientais .....	21
3.3	<b>Estratégias de Restauração de Áreas Mineradas</b> .....	23
3.4	<b>Campos de Altitude</b> .....	24
3.4.1	Ecologia dos Campos de Altitude .....	26
3.4.2	Gramínea – Aristida sp. ....	28
3.4.3	Plantio da vegetação de Campo de Altitude .....	28
3.5	<b>Planalto de Poços de Caldas: processos de formação e ocupação do solo</b> .....	29
3.5.1	Caracterização edafoclimática do Planalto de Poços de Caldas .....	29
3.5.2	Pedologia e relevo do Planalto de Poços de Caldas .....	31
3.5.3	A mineralização no planalto.....	32
4	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	34
4.1	<b>Caracterização da área de estudo</b> .....	34
4.1.1	Localização e definição de tratamentos (áreas amostrais).....	35
4.1.2	Relevo e classe de solo da área de estudo. ....	36
4.2	<b>Estratégia de Restauração de Campos de Altitude nas áreas após a extração de bauxita</b> .....	38
4.2.1	Remodelagem da Topografia e Recomposição do Topsoil .....	38
4.2.2	Plantio e manejo da vegetação de campos de altitude.....	39
4.3	<b>Solo: coletas para análises dos atributos químicos, físico, cobertura vegetal e condutividade hidráulica do solo</b> .....	40

4.3.1	Parâmetros químicos .....	40
4.3.2	Parâmetros físicos e de condutividade hidráulica do solo saturado. ....	41
4.4	<b>Monitoramento da perda de solo e do escoamento superficial direto.....</b>	<b>42</b>
4.4.1	Determinação das áreas e parcelas .....	42
4.4.2	Coleta das amostras para análise de perda de solo .....	43
4.5	<b>Análise da cobertura vegetal .....</b>	<b>45</b>
4.6	<b>Análise Estatística .....</b>	<b>46</b>
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>47</b>
5.1	<b>Atributos físicos e químicos do solo .....</b>	<b>47</b>
5.2	<b>Perda de solo e condutividade hidráulica .....</b>	<b>54</b>
5.3	<b>Porcentagem de Cobertura do vegetal .....</b>	<b>56</b>
6	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>59</b>
	<b>APÊNDICES . .....</b>	<b>70</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A mineração é uma das atividades antrópicas mais impactantes aos recursos naturais, e que pode afetar profundamente a resiliência dos ecossistemas em função do nível de degradação promovido no solo. Os impactos causados por essa atividade são tão grandes que historicamente o processo de recuperação das áreas mineradas se restringiu à reabilitação ambiental, que na maioria dos casos consistiu simplesmente na introdução de gramíneas invasoras forrageiras e árvores exóticas, partindo-se do pressuposto de que o solo não poderia ser recuperado e de que não seria mais possível restabelecer a biodiversidade nativa nesses locais.

Para o IBAMA (1990), a revegetação é a prática mais adequada para se obter a formação de um novo solo, controlar a erosão e evitar a poluição das águas.

De acordo com Fontes (1991), o conhecimento do solo onde a recuperação será efetuada é um dos fatores mais importantes para o sucesso das práticas de manejo adotadas, sobretudo quando avaliadas no tempo.

A obrigação legal, atrelada a condicionantes ambientais oriundas do licenciamento ambiental, fez com que o setor minerário se atentasse cada vez mais à qualidade do trabalho que vem sendo realizado na recuperação destas áreas que sofreram distúrbios decorrentes da mineração. Assim como o setor minerário, órgãos ambientais têm refinado suas exigências para a maneira como a recuperação destas áreas vem acontecendo, como estes processos de recuperação são monitorados e quais indicadores de resposta são utilizados para comprovar a eficiência da metodologia implantada, a fim de garantir o retorno da qualidade do solo, e por consequência da cobertura vegetal.

Por muitos anos, o biótopo campestre foi ignorado diante de processos minerários, pela falta de conhecimento e importância desta tipologia. O estudo e entendimento da vegetação campestre é relativamente recente, sendo que a primeira orientação na legislação para identificar e classificar o estágio sucessional desta vegetação ocorreu em 2010, com a Resolução CONAMA nº423. O processo de licenciamento ambiental minerário no estado de Minas Gerais identificou a grande pressão exercida em ambientes campestres, e fez prevalecer através do PARECER SEMAD/ASJUR Nº 13/2015 a obrigatoriedade de identificar, dentro de tais empreendimentos, o estágio de sucessão ecológica em que a vegetação campestre

se encontra. A partir da Resolução CONAMA nº423 e o parecer da SEMAD, os órgãos ambientais tornaram-se mais rigorosos com as intervenções nesta tipologia, criando assim uma necessidade de readequação nas ações de muitos empreendedores. Estas readequações incluem elaborar todo o processo de licenciamento voltado para campos de altitudes e inserir, no momento da elaboração do plano de recuperação, ações que visem o retorno das atividades funcionais do solo e da vegetação. Há, porém, um vazio de informações científicas sobre o comportamento e recuperação do solo para este tipo de vegetação. Os trabalhos acadêmicos voltados à temática de recuperação de solos em áreas mineradas têm como principal foco de estudo cobertura vegetal florestal ou de gramíneas exóticas, não havendo na literatura acadêmica trabalhos voltados para recuperação de solos em áreas mineradas com vegetação de campos de altitude, tornando este trabalho pioneiro e exploratório.

Além do pioneirismo, nos próximos anos, uma parcela considerável das atividades minerárias avançará sobre este tipo de vegetação, fazendo com que os empreendedores necessitem de informações de processos de recuperação dos campos altimontanos, para orientar os procedimentos de recuperação, monitoramentos e a criação de indicadores de recuperação deste solo e vegetação.

O trabalho será fundamental para orientar a restauração de campos de altitude nos próximos anos e seu manejo, servindo de base a outros trabalhos assim como atender a legislação pertinente a recuperação de áreas mineradas atreladas ao licenciamento ambiental.

## 2 OBJETIVO

O objetivo geral do estudo foi avaliar o processo de restauração de áreas de campo de altitude pós lavra de bauxita, com plantio da gramínea *Aristida sp*, tendo como base a identificação dos atributos do solo que melhor explicam o processo.

### 2.1 Objetivos específicos

Abaixo, seguem os objetivos específicos:

- a) Identificar dentre os atributos físicos, químicos e cobertura vegetal do solo, que explicam a eficácia do processo de restauração;
- b) Identificar o possível efeito temporal neste processo de restauração;
- c) Verificar se há relação da perda de sólidos superficiais com a porcentagem de cobertura vegetal do solo em diferentes áreas após a exploração de bauxita.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 O planalto de Poços de Caldas

Segundo Guimarães *apud* Pereira e Fontes (2015) em 1765 expedicionários que desbravavam o país encontraram águas malcheirosas, com propriedades medicinais que de acordo com informações locais curavam doenças.

No final do século XVIII a história de Poços de Caldas iniciou-se com a descoberta das fontes de águas sulfurosas com poderes curativos. A fama do poder das águas logo se espalhou, e apesar da dificuldade de acesso ao povoado, ocorreu o início de uma peregrinação doentes de toda a parte do país (WILLIANS, 2001).

Em 1886, a Cia Mogyana de Estradas de Ferro construiu um ramal até a cidade de Poços e Caldas, sendo a viagem inaugural realizada por Dom Pedro II. Neste momento Poços e Caldas tornou-se aos poucos um centro comercial de distribuição de mercadorias vindas de São Paulo e Rio de Janeiro, transportando café e minérios.

Segundo Willians, no ano de 1987, o geólogo americano Orville Derby, o então Diretor do serviço Mineralógico e Geológico do Brasil publica o primeiro trabalho científico sobre a mineralogia da região, descrevendo rochas alcalinas e sua disposição anelar. O trabalho foi publicado na Inglaterra, através da Sociedade geológica de Londres. Antes do fim do século, o alemão Eugene Hussak e um membro da família Imperial Brasileira, D. Pedro Augusto de Saxce Coburg, publicaram artigos descrevendo a existência de zircônio na região de poços de Caldas.

No início da década de 1910, iniciou-se a exploração mineral de zircônio na região, e em meados de 1910 observou-se outras ocorrências minerais na região do Planalto de Poços de Caldas. Em 1935 cria-se a Companhia Geral de Minas, não apenas com interesse no zircônio, mas principalmente pelo aproveitamento econômico da bauxita (WILLIANS, 2001).

### 3.1.1 Histórico de extração de bauxita e o início da recuperação de áreas mineradas em Poços de Caldas

Em 1962, a Alcoa Alumínio S.A. adquiriu o controle acionário da CGM e, partir de 1970, a produção de bauxita passou a ser direcionada exclusivamente para produção de alumina e alumínio. No final da citada década, em uma visita a Poços de Caldas, o presidente mundial da Alcoa, Joe Bates, ficou bastante preocupado com a situação das áreas degradadas pela mineração, ordenando que buscassem soluções necessárias para reverter aquela situação. Foi então que Dom Willians, iniciou o trabalho de recuperação de áreas degradadas por mineração no planalto de Poços de Caldas, pioneiro no Brasil (WILLIANS,2001).

Assim a Alcoa construiu ao longo dos anos uma trajetória de melhoria contínua no que tange a recuperação de áreas degradadas. Tal melhoria se deve a inserção da academia, promovendo o apoio a pesquisas científicas, abrindo suas portas para o estudo dos processos de recuperação de áreas mineradas. Na década de 70, quando o termo recuperação, ou mesmo reabilitação era pouco familiar à comunidade da indústria de mineração, a companhia já se mostrava um passo à frente, promovendo nas áreas mineradas a recuperação com espécies arbóreas, mesmo com o pouco conhecimento que se tinha sobre silvicultura. Quando se traça uma linha do tempo, é nítida a evolução dos “modelos” de recuperação, mesmo sendo conhecido que cada área necessite de um estudo e olhar particular para se definir a melhor metodologia. Mas mesmo neste contexto, diante das particularidades do ambiente, faz-se necessária uma diretriz para adotar a melhor prática.

Pela Constituição Federal de 1988, artigo 255, “aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma de lei”. O Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), criado por Decreto N°97632, em 1989, traz que “a recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio ambiente.”.

De acordo com Guimarães (2015), uma análise sistêmica dos principais impactos decorrentes da atividade sobre a área e seu entorno, é fundamental para definir o uso futuro, e as ações para atingir propósito planejado.

A definição do método que será empregado na Recuperação de Áreas Degradadas (RAD) por mineração deve levar em consideração os riscos ambientais, uso futuro da área, harmonização com o ambiente do entorno, custo e a sustentabilidade do sistema (GUIMARÃES, 2015 *apud* DIAS e ASSIS, 2011).

## **3.2 Mineração no Brasil**

### **3.2.1 Aspectos sócio econômicos**

A mineração, por constituir um dos setores básicos da economia do Brasil, contribuiu de forma decisiva para o bem-estar e a melhoria da qualidade de vida da população, pois, a partir da produção minerária criam-se empregos e insumos para a indústria em geral (GUIMARÃES, 2015 *apud* SOARES; SILVA, 2009), sendo que neste contexto alguns minerais apresentam maior valor econômico do que o solo. Adiciona-se o fato de que os bens minerais são empregados nos mais diversos produtos consumidos pela sociedade moderna (GUIMARÃES, 2015).

A partir de 2000, o aumento da demanda por minerais, principalmente pelo elevado índice de crescimento mundial, impulsionou o valor da PMB. No período 2001/2011, a PMB teve um crescimento de aproximadamente 550%, saindo de US\$7,7 bilhões para US\$50 bilhões. Com o processo de urbanização e o fortalecimento das economias mundiais, estima-se que a PMB continuará crescendo entre 5% e 8% ao ano durante os próximos dois anos segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM,2015).

Segundo o IBRAM (2015), o Índice de Desenvolvimento Humano - IDH das cidades mineradoras é maior do que a média dos municípios dos respectivos estados. Mesmo quando são instalados longe de grandes centros urbanos ou mesmo em áreas com baixos níveis sociais, os empreendimentos de mineração se tornam uma possibilidade real para o desenvolvimento sustentável da região.

Em 2015, as substâncias da classe dos metálicos responderam por cerca de 76% do valor total da produção mineral comercializada brasileira. Dentre essas substâncias, oito destacam-se por corresponderem a 98,5% do valor da produção comercializada da classe, quais sejam: alumínio, cobre, estanho, ferro, manganês,

nióbio, níquel e ouro. O valor da produção comercializada dessas oito substâncias totalizou 67,5 bilhões de reais, com destaque para a expressiva participação do ferro nesse montante, cuja produção é concentrada, principalmente, nos estados de Minas Gerais e Pará (Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, 2016).

As cadeias produtivas, incluindo o beneficiamento e transformação, do minério de bauxita, variam em tamanho, complexidade e valor agregado. Para cada real obtido na extração de bauxita, são gerados mais R\$16,00 em todas as etapas de produção (Associação Brasileira do Alumínio - ABAL, 2017).

A bauxita ocupa a terceira posição de recursos naturais em volume produzido no Brasil, com cerca de 37 milhões de toneladas anuais. No panorama global, a produção de bauxita em 2015 ocupou o terceiro lugar, atrás da Austrália com cerca de 81 milhões de toneladas anuais e China, com 65 milhões (ABAL, 2017).

As principais empresas que atuam na mineração de bauxita no Brasil são: Mineração rio do Norte S.A com 48% do total de produção; Mineração Paragominas S.A com 27% do total de produção seguido da Alcoa Alumínio S.A que ocupa o terceiro lugar da produção de bauxita no Brasil, com 15% do total da produção no país (ABAL, 2017).

### 3.2.2 Aspectos Ambientais

A mineração é uma das atividades mais rentáveis e estratégicas no mundo moderno, provendo matérias primas para uma ampla gama de indústrias e produtos, mas também representa uma das mais impactantes ações antrópicas no ambiente (MACDONALD et al., 2015; MOBTAKER; OSANLOO, 2015), gerando perdas consideráveis no meio físico, biodiversidade e paisagem (QUADROS et al., 2016; TRIPATHI; SINGH, HILLS, 2016; LUNA et al., 2016). Além de suprimir a cobertura vegetal, muitas vezes de ecossistemas nativos bastante ameaçados, a mineração remove a camada superficial do solo e, com ela, a maior parte dos nutrientes e matéria orgânica do solo (BRADY; NOSKKE, 2010). Como consequência, resta uma matriz de materiais minerais com estruturação física, conteúdo de matéria orgânica e de nutrientes, atividade microbiológica e processos hidrológicos comprometidos (LONGO; RIBEIRO; MELO, 2005; BARROS et al., 2012; MENSAH, 2015).

Leite e Araújo (2007) trazem que “o solo é um recurso natural vital para o funcionamento dos ecossistemas terrestres, composto por um balanço entre as frações sólida, líquida e gasosa”. A fração sólida é formada por minerais, raízes, macro e microrganismos metabolicamente ativos e inativos e matéria orgânica em vários estágios de decomposição, enquanto a fração líquida é formada por água e materiais dissolvidos, e a fração gasosa, por gases atmosféricos em diferentes proporções (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

De acordo com Brady e Noske apud Bizuti, 2017, a camada superficial do solo, ao ser removida, faz com que o meio perca uma considerável carga de elementos orgânicos, impactando sobre fatores microbiológicos e hidrológicos do meio (LONGO; RIBEIRO; MELO, 2005; BARROS et al., 2012; MENSAH, 2015). Em adição, INGRAM et al., 2005; WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2014 e Siqueira, Soares e Silva (2018) enfatizaram que o solo perde diversos serviços ecossistêmicos fundamentais, reforçando que a qualidade da recuperação de áreas mineradas é o fator crítico dentro das ações visando a sustentabilidade dessas áreas. No que tange tais ações colaborativas ao desenvolvimento sustentável, Bradshaw (1997) destacou o desenvolvimento de legislações específicas que regulem a reabilitação de áreas impactadas pela mineração.

As diretrizes legais para se tratar a vegetação de campos de altitude são recentes. A primeira diretriz legal que tratou os parâmetros básicos para identificação e análise de vegetação primária e seus estágios sucessionais para este biótopo foi a Resolução CONAMA No 423, de 12 de abril de 2010, a qual “dispõe sobre parâmetros básicos para identificação e análise da vegetação primária e dos estágios sucessionais da vegetação secundária nos Campos de Altitude associados ou abrangidos pela Mata Atlântica”. Anterior a esta data, a CGM – Companhia Geral de Minas, subsidiária da Alcoa Corp. já realizava trabalhos de recuperação de áreas mineradas com tal formação vegetal.

A extração de minérios exige a retirada da camada superficial original do solo juntamente com a cobertura vegetal (LONGO; RIBEIRO; MELO, 2005), o que resulta em um ecossistema em colapso, com baixas resiliência e resistência e elevado nível de entropia (DIAS; ASSIS, 2011). Numa sequência de eventos que ocasionam a perda da função do solo, ou seja, queda da qualidade em função da degradação, destaca-se a remoção da vegetação e as perdas de matéria orgânica.

Segundo Bizuti (2017), o emprego do topsoil, material proveniente do decapeamento da camada superficial do solo, faculta o papel da comunidade microbiana do solo, tanto como “agente facilitador” ou como “seguidor” da sucessão ecológica, contribuindo para o retorno do ecossistema degradado à sua trajetória histórica sendo a matéria orgânica o principal componente presente no topsoil responsável por catalisar o processo de sucessão, considerado lento. Estudar a dinâmica de atributos que definem a qualidade do solo representa mudar o conceito de sustentabilidade da condição qualitativa para um formato quantitativo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009; TÓTOLA; CHAER, 2002).

Neste contexto, TURCO; KENNEDY; JAWSON (1994) destacaram que um bom indicador de qualidade do solo necessita responder significativamente às perturbações do solo, avaliar com precisão o funcionamento do sistema produtivo, e ainda indicar diferenças espaciais e temporais.

Parte das estratégias de mitigação dos impactos da mineração consiste do desenvolvimento de legislações específicas para o setor, que estabelecem a conservação e substituição dos solos superficiais e a recuperação da vegetação como medidas de compensação ambiental (BRADSHAW, 1997).

### **3.3 Estratégias de Restauração de Áreas Mineradas**

A definição do método que será empregado na Recuperação de Áreas Degradadas (RAD) por mineração deve levar em consideração os riscos ambientais, uso futuro da área, harmonização com o ambiente do entorno, custo e a sustentabilidade do sistema (DIAS e ASSIS, 2011). Portanto, fazer uma análise sistêmica dos principais impactos decorrentes da atividade sobre a área, e seu entorno, é fundamental para definir o uso futuro da área, assim como as ações para se atingir tal propósito (GUIMARÃES, 2015), escolhendo o método baseado em ganhos ecológicos oferecido por cada estratégia (GUIMARÃES et al 2013).

A Sociedade Internacional para Restauração Ecológica (SER, 2004) define como restauração ecológica o processo de auxílio ao reestabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído como resultado direto ou indireto da atividade humana, podendo também ser causado ou agravado por causas naturais.

Uma área restaurada não voltará necessariamente à sua condição anterior, sendo o objetivo da restauração ecológica procurar retornar um ecossistema à sua trajetória histórica. A utilização de um modelo conceitual apoiado nos princípios da SER-International (2004) prevê que os limites da trajetória histórica podem ser estabelecidos por meio de uma combinação de conhecimentos sobre a estrutura, composição e funcionamento preexistentes do ecossistema danificado, de estudos de ecossistemas intactos comparáveis, de informações sobre condições ambientais da região e análises de outras informações ecológicas, culturais e históricas do ecossistema referência.

### **3.4 Campos de Altitude**

Segundo Martinelli (1996), os campos de altitude encontram-se, em sua maioria, isolados nos picos das montanhas do sudeste brasileiro e associados ao bioma Mata Atlântica. A vegetação dos Campos de Altitude é constituída predominantemente por gramíneas e arbustos, com elevado número de espécies endêmicas (SAFFORD 1999<sup>a</sup>, MARTINELLI 2007). Segundo SAFFORD (1999b, 2007), o clima e a florística de tais formações assemelham-se aos dos Páramos Andinos. Entretanto, os campos de altitude possuem características climáticas que conferem singularidade às suas formações vegetais, como a sazonalidade climática fortemente marcada, ocorrência de temperaturas mais baixas e o comprimento do dia, que é maior no verão e menor no inverno (SAFFORD, 1999b). Em adição, são apontados como ambientes sensíveis à atividade antrópica, especialmente à remoção da cobertura vegetal e a mudanças no clima (MARTINELLI, 2007).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2008, p. 2);

É importante destacar que além de sua incontestável relevância biológica, os campos de altitude cumprem funções abióticas relacionadas à manutenção, filtragem e regularização dos sistemas hidrográficos, bem como a imobilização de carbono atmosférico em solos sob regime saturado de hidromorfia, especialmente os Organossolos. Cumprem ainda incomum valor de fixação de carbono todos os solos que possuam horizontes hísticos e húmicos, frequentes em áreas cobertas pelos Campos de Altitude.

Neste biótopo, os diferentes tipos de vegetação formam um mosaico, cuja fisionomia frequentemente encontrada nos platôs relativamente extensos é a de arbustos inseridos em uma matriz de touceiras de gramíneas, com ervas esparsas e pteridófitas (SAFFORD, 1999).

Sua ocorrência junto das formações florestais circundantes deve-se a razões em grande parte relacionadas ao clima e apenas secundariamente às condições pedológicas (RIBEIRO et al, 2002).

O elevado número de espécies endêmicas na formação de Campos de Altitude, indica que esses ambientes são relativamente antigos e não apenas produtos de distúrbios antrópicos recentes. Nesse mesmo sentido, evidências paleobotânicas sugerem que os campos de altitude têm coberto os cumes do Sudeste do Brasil ininterruptamente desde o final do Pleistoceno (SAFFORD, 1999a), configurando uma estrutura e composição florística são semelhantes à da estepe gramíneo-lenhosa e à do componente herbáceo da savana (TRAMUJAS, 2000).

Há semelhanças fisionômicas e ecológicas dos campos de altitude com os campos rupestres, mas diferem pela composição florística e quanto à litologia predominante (CAIAFA; SILVA, 2005). Os campos rupestres ocorrem predominantemente sobre rochas quartzíticas e areníticas, enquanto os campos de altitude ocorrem predominantemente sobre rochas graníticas e migmatíticas.

Os campos de altitude desenvolvem-se em condições ambientais peculiares, decorrentes dos efeitos da altitude e do relevo acidentado. A altitude elevada acarreta temperaturas mais baixas e ventos mais velozes. Paralelamente, o relevo acidentado origina solos rasos e forma um mosaico de micro-habitat. Essas condições, distintas do contexto do entorno, podem ocasionar níveis elevados de endemismo (MOCOCHINSKI E SCHEER, 2008).

Ambientes como os campos de altitude merecem mais atenção da comunidade científica, não só pelo seu significado biológico e geológico, mas, principalmente, porque representam as primeiras áreas de drenagem para o suprimento de água de quase 25% da população brasileira e para que este sistema funcione nas condições ideais, é importante que se entenda o mecanismo de recuperação do solo que suporta toda esta biodiversidade (SAFFORD, 1999).

Apesar do endemismo e alta especificidade dos campos de altitude, há uma considerável riqueza de espécies nos locais de ocorrência do biótopo. Em áreas de campo mineradas e posteriormente reabilitadas, no município de Poços de Caldas (MG), foi verificada a ocorrência de 49 espécies vegetais no período seco e 34 no período chuvoso, com predominância das famílias Poaceae, Asteraceae, Melastomataceae e Rubiaceae (NASCIMENTO et al, 2017).

As publicações científicas sobre formações campestres estão pautadas em Campos Rupestres e Campos Cerrados, onde os Campos de Altitude parecem ser negligenciados, mesmo sendo uma fitofisionomia que sofre grande pressão antrópica. No planalto de Poços de Caldas, os campos de altitude encontram-se associados a grandes jazidas minerais de bauxita (BARROS, 2014).

#### 3.4.1 Ecologia dos Campos de Altitude

Na década de 80, um estudo pioneiro sobre os campos de altitude na região do planalto de Poços de Caldas foi realizado por Pereira (1986), que descreveu e ilustrou 67 espécies de gramíneas campestres nativas dos diversos ambientes naturais da região, gerando uma importante base de dados acerca da distribuição dessas espécies, bem como informações referentes aos seus aspectos ecológicos e agronômicos.

Um novo estudo nos campos altimontanos foi realizado no Planalto de Poços de Caldas por Barros (2014), onde foram coletados 370 indivíduos com estrutura reprodutiva fértil, distribuídos em 32 famílias e 96 gêneros, sendo que das 152 espécies coletadas, 139 foram identificadas em nível de espécie e 13 em gênero.

Segundo Barros (2014), as famílias mais representativas na amostragem foram Asteraceae (43 espécies), Poaceae (26 espécies), Melastomataceae (14 espécies) e Fabaceae (10 espécies). Essas quatro famílias juntas representaram cerca de 60% da riqueza de espécies encontrada em campo. Os outros 40% da riqueza específica se distribuíram entre 59 espécies de 28 famílias.

Caiafa e Silva (2007), estudando a estrutura da vegetação sobre afloramento granítico no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (MG), determinaram que as espécies campestres: *Trilepis lhotzkiana*, *Panicum* sp. e *Vellozia variegata*

apresentaram as maiores dominâncias, frequências relativas, e valores de importância. Essas três espécies, somadas à *Rhynchospora emaciata*, *Dyckia bracteata* e *Tibouchina cf. manicata* representaram 98,3% da dominância relativa. E o restante (1,7 %) refere-se a 22 espécies identificadas na área de estudo. Esses autores concluíram que há escassez dos estudos sobre essas formações frente à abrangência das áreas de afloramentos rochosos no Brasil.

Mocochinski e Scheer (2008), estudando a composição florística de seis áreas de ocorrência natural de campos altimontanos, situados na Serra do Mar, no estado do Paraná, encontraram 280 espécies vegetais vasculares pertencentes a 73 famílias; dessas, 63 angiospermas, 8 pteridófitas e 2 gimnospermas. A família que apresentou a maior riqueza foi Asteraceae, com 44 espécies, seguida por Poaceae, Melastomataceae e Cyperaceae. De acordo com os mesmos autores, a Serra do Ibitiraquire (no estado do Paraná), representa o maior maciço da formação vegetacional estudada, apresentando a maior riqueza de espécies (224 espécies).

Como um dos resultados apresentados em sua pesquisa, Barros (2014) encontrou sete espécies consideradas mais importantes nos campos altimontanos estudados sendo elas admitindo o valor de importância; *Echinolaena inflexa* (32,50 %), *Schizachyrium tenerum* (29,10 %), *Aristida jubata* (25,64 %), *Ageratum fastigiatum* (17,54 %), *Andropogon leucostachyus* (15,91 %), *Paspalum pilosum* (11,59 %) e *Baccharis dracunculifolia* (11,29 %). O autor sugere que em função dos valores de importância encontrados, as espécies: *Echinolaena inflexa*, *Schizachyrium tenerum*, *Aristida jubata*, *Ageratum fastigiatum*, *Andropogon leucostachyus*, *Paspalum pilosum* e *Baccharis dracunculifolia*, que tais espécies apresentam potencial para utilização em projetos de restauração ecológica (BARROS, 2014).

Valcarcel e Silva (2004) sugerem que a utilização dos princípios teóricos da ecologia vegetal em ecossistemas degradados constitui uma ferramenta fundamental para a restauração, uma vez que através de práticas artificiais, tenta-se simular os mecanismos naturais, induzindo o surgimento de novas espécies de diferentes estágios sucessionais (VALCARCEL; SILVA, 2004). Entretanto, as espécies potenciais para projetos de restauração ambiental devem ser capazes de se estabelecer e reproduzir na área degradada, permitindo também, a recolonização do local por espécies de outros estágios sucessionais (BARROS *apud* LE STRADIC et al., 2014).

### 3.4.2 Gramínea – *Aristida* sp.

O gênero *Aristida* L. foi descrito com base na espécie cosmopolita *A. adscensionis* L. e inclui cerca de 280 espécies. No caso do Brasil, onze espécies foram tratadas por Nees (1829), sob *Chaetaria*, e dezoito por Döll (1878). Após estes dois trabalhos, o gênero foi tratado em floras regionais por outros diversos autores, não havendo, entretanto, qualquer chave que reúna todas as espécies ocorrentes nas diferentes regiões do País.

No que diz respeito ao ciclo de vida das espécies de capim *Aristida* sp., a maior parte que ocorre no Brasil é perene (LONGHI-WAGNER, 1990). Somente no Sudoeste ocorrem duas espécies anuais muito relacionadas, *A. capillacea* e a *A. sanctae-luciae*.

A característica principal do gênero *Aristida*, que a torna de fácil reconhecimento no campo, é a presença de espiguetas unifloras associadas a lemas triaristados.

Segundo Longhi-Wagner (1990) o *Aristida* sp. é adaptado a habitats de alta luminosidade, temperatura elevada e "stress" hídrico – condições às quais espécies deste gênero estão geralmente associadas, ocupando especialmente regiões tropicais e subtropicais. Da mesma forma, as espécies de *Aristida* no Brasil e em outros locais ocorrem geralmente em solos pedregosos e secos, com exceção da *A. capillacea*, que muitas vezes é encontrada em solos brejosos, e da *A. sanctae-luciae*, que pode ocorrer em ambiente semelhante, embora menos comumente. As espécies de *Aristida* que ocorrem em zonas subtropicais até temperadas, com estações do ano definidas, mantêm o seu caráter megatérmico, uma vez que são de ciclo estival, e são associadas a solos secos e pedregosos (LONGHI-WAGNER, 1990).

### 3.4.3 Plantio da vegetação de Campo de Altitude

Quando a floresta não se desenvolve em um ambiente, vários fatores podem ter colaborado para tal, como baixa pluviosidade, baixa fertilidade, profundidade do solo, entre outros. Portanto, existem inúmeros casos em que a recomposição da área minerada através mudas florestais não apresentou resultados satisfatórios, pois as

mudas não se estabeleceram devido a condições edafobioclimáticas. (MARLIERI et al, 2012).

No caso específico da mineração de bauxita no planalto de Poços de Caldas (MG), diversas áreas estão localizadas em campos de altitude, possuindo solos rasos e ácidos, com vegetação predominantemente rasteira, com domínio do capim *Aristida sp.*, nativo da região (MARLIERI et al, 2012).

O método tradicional de plantio de mudas de espécies arbóreas já se mostrou falho para as áreas de campos de altitude no planalto de Poços de Caldas (MG). Uma alternativa a ser implantada, ainda sem precedentes na literatura científica, é a utilização da sementeira a lanço do capim *Aristida sp.*, conhecido popularmente como barba-de-bode, predominante nos planaltos da Serra da Mantiqueira. Esta planta é altamente adaptada a solos ácidos e com excesso de alumínio trocável, situação que se verifica no solo da região de Poços de Caldas (MG) MARLIERI et al, 2012).

### **3.5 Planalto de Poços de Caldas: processos de formação e ocupação do solo.**

#### **3.5.1 Caracterização edafoclimática do Planalto de Poços de Caldas**

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cwb – clima mesotérmico, subtropical de altitude, caracterizado por invernos secos e verões amenos, onde estão concentradas as chuvas (SÁ JÚNIOR, 2009). A temperatura média é de 17°C e o índice pluviométrico anual é da ordem de 1.430 mm (PMPC, 2011).

A região do planalto de Poços de Caldas está situada no sul do Estado de Minas Gerais, entre as coordenadas de 21°55'26" latitude Sul e 46°33'09" longitude W (LORENZO, 2001). Caldas ocupa um extenso planalto de forma elíptica, constituindo uma superfície bastante original no relevo brasileiro.

[Segundo o relatório do Projeto Sapucaí (CAVALCANTE et al.,1979), as primeiras tentativas de situar no tempo geológico o evento magmático do qual surgiu o maciço de Poços de Caldas foram baseadas na natureza de suas rochas. Derby (1887), relacionou o pacote sedimentar ao Carbonífero e atribuiu idade permiana à sequência eruptiva. Barbosa (1934, 1936, 1948) considerou os folhelhos de Águas da Prata como pertencentes à Formação Estrada Nova, reconhecendo o arenito

sobreposto como sendo Botucatu, metamorfozido pela intrusão alcalina. Barbosa reconheceu ainda duas fases magmáticas, plutônica e vulcânica, respectivamente de idade pré-ordoviciano e do fim do Mesozóico. Freitas<sup>10</sup> (1943, 1974) defendeu a ideia de uma única fase intrusiva, de idade jurássica. Essa ideia foi aceita por diversos autores. Branco<sup>11</sup> (1956) e Ellert<sup>12</sup> (1959) retomaram a defesa de dois eventos eruptivos. Frayha<sup>13</sup> (1962), com base em sondagem no campo das Brígidas, retomou a ideia de Barbosa e reforçou a existência de duas fases distintas de intrusões alcalinas, a primeira, permiana, quando se originaram os foiaítos; e a segunda, jurássica, com a formação de rochas efusivas, seguidas de ações hidrotermais.

Utilizando o método chumbo-alfa, Dutra (1966), realizando medidas de geocronologia, datou a idade de amostras de zircões oriundos de veios de caldasitos e obteve resultados que variaram entre 109 e 87 milhões de anos, indicando idade cretácea para cristalização dos veios. Esta seria uma idade mínima do maciço, uma vez que os mesmos cortam as rochas alcalinas.

Ainda, segundo Cavalcante et al. (1979), Amaral et al. (1967) encontraram valores aproximados de 80,3 a 62,8 milhões de anos, colocando o evento no Cretáceo superior (método (K/Ar). Bushee<sup>15</sup> (1971), ampliando o estudo de Amaral et al., situou as primeiras atividades vulcânicas em pelo menos 87 milhões de anos.

A intrusão das rochas que compõem o dique anelar em 81 milhões de anos, enquanto a massa de tinguaitos e fonólitos teria ocorrido entre 78 e 72 milhões de anos. A intrusão dos corpos sieníticos (foiaítos, chibinito, lujauritos) teria ocorrido entre 64 e 60 milhões de anos, sendo que o fechamento do evento magmático, representado pelos diques de fotolitos, ocorreu há cerca de 53 milhões de anos.

A dinâmica vulcânica que se desenvolveu na região levou à formação de um maciço alcalino composto principalmente por rochas ígneas e metamórficas, com destaque para as nefelina sienitos e fonólitos em transição com tinguaitos, além de depósitos dispersos de arenitos, enquanto a faixa externa ao planalto se trata de um embasamento cristalino predominantemente granítico (ELLERT, 1959). A Figura 1/ Apêndice II traz o mapa litológico da região de interesse, assim como a distribuição dos litotipos no município de Poços de Caldas. A área de estudo se encontra sobre uma matriz fonolítica com a interferência de sedimentos aluvionares devido à proximidade ao curso d'água. Os fonólitos são rochas potássicas de granulação fina

que, a partir da ação supérgena (intemperismo), formam solos bauxíticos, com elevada ocorrência na região (ELLERT, 1959).

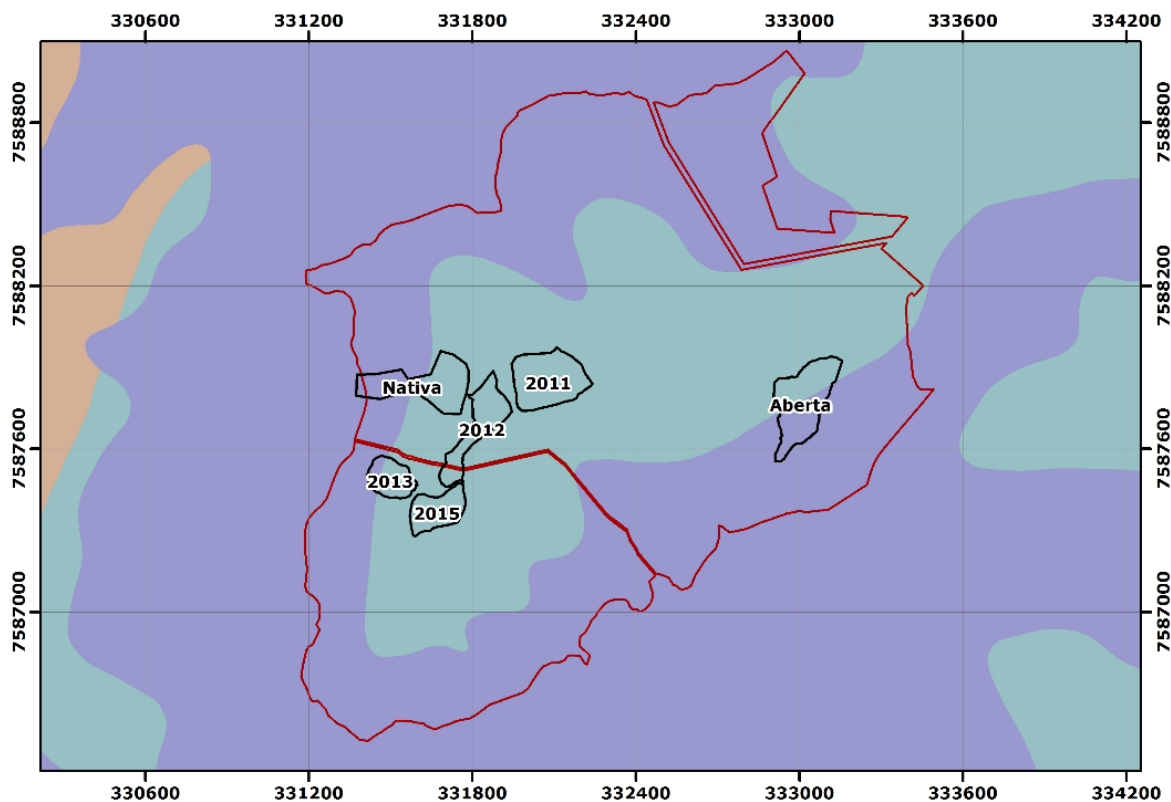


Figura 1 – Mapa litológico da área de estudo.

Fonte: CODEMIG, 2017.

### 3.5.2 Pedologia e relevo do Planalto de Poços de Caldas

Há a ocorrência de três principais tipos de solo em Poços de Caldas – MG:

- a) Argissolo Vermelho-Amarelo: desenvolve-se em áreas de relevo plano a montanhoso, sob influência de rochas cristalinas. Apresenta horizonte com acúmulo de argila e B textural com cores vermelho-amareladas devido aos óxidos de ferro. É um tipo de solo profundo ou muito profundo, bem estruturado e seu uso está normalmente associado à cultura de cana e espécies frutíferas (DA SILVA E OLIVEIRA NETO, 2011).
- b) Cambissolo Háplico: suas características variam muito conforme o material de origem, formas de relevo e condições climáticas da região. É normalmente associado a relevos forte-ondulados ou montanhosos, com ausência de horizonte superficial A húmico. Possuem fertilidade variável, e seu uso é

limitado principalmente pela sua associação a declives acentuados, pequena profundidade e pedregosidade da massa do solo (DOS SANTOS, ZARONI E ALMEIDA, 2011).

- c) Latossolo Vermelho: apresenta cor vermelha acentuada devido aos altos teores de óxidos de ferro. Predominam em áreas de relevo plano e suave ondulado, com menor ocorrência em relevo ondulado. Sua alta profundidade e porosidade propicia o desenvolvimento radicular das plantas, entretanto algumas regiões podem comprometer esta característica devido à alta concentração de alumínio no meio, comum a ambientes latossólicos. Em adição, pode oferecer baixa disponibilidade de água as plantas e apresentar alto grau de compactação (EMBRAPA, 2006).

O relevo de Poços de Caldas, devido ao contexto geológico de formação do Planalto (ELLERT, 1959), apresenta declividades bastante variadas (Tabela 1), conforme a Tabela 1 e Figura 3/Apêndice II (mapa detalhado). No dique anelar da caldeira vulcânica há predominância do relevo forte-ondulado, enquanto sua área interna (que engloba a região de estudo) é majoritariamente ondulada e suave-ondulada.

Tabela 1 – Classes de relevo do município de Poços de Caldas.

Declividade (%)	Relevo	%
0 - 3	Plano	7%
03/ago	Suave-ondulado	19%
ago/20	Ondulado	50%
20 - 45	Forte-ondulado	23%
45 - 75	Montanhoso	2%
75 - 100	Forte-Montanhoso	0%

Fonte: Autor

### 3.5.3 A mineralização no planalto.

Os processos de intemperismo atuaram intensamente sobre as rochas do maciço alcalino de Poços de Caldas e, graças a uma combinação de litologia, disposição do relevo e regime pluviométrico, condicionaram a formação de extensos depósitos de bauxita, que nos anos 1970 correspondiam a 2/3 da produção nacional.

A maior parte dos depósitos ocorre em sua porção norte, sendo raros e de pequeno porte os que se situam em sua porção meridional. Conhecidas desde o início do século XX, as jazidas mereceram atenção a partir dos anos 30.

As jazidas de bauxita constituem depósitos superficiais, descontínuos e de formatos irregulares, ocupando preferencialmente os topos das elevações e as meias- encostas. Sua distribuição é controlada pelo relevo (CAVALCANTE et al., 1979).

As jazidas de bauxita dividem-se em dois tipos: “de serra” e “de campo” e cada uma de suas disposições associam-se a minérios de características particulares. As jazidas de serra se formaram a partir da decomposição de rochas alcalinas do dique anelar que delimita o planalto. Sua principal ocorrência encontra-se nas serras de São Domingos e de Poços de Caldas. Sua configuração pode atingir espessuras que superam os 10m, mas possuem limitado desenvolvimento espacial.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada na região oeste do município de Poços de Caldas, sul de Minas Gerais, nas coordenadas 21°48'26.7" S e 46°37'23.7" W. As concessões minerárias onde se encontram os pontos de coleta de dados estão situadas no interior do Planalto de Poços de Caldas e são adjacentes à represa Bortolan, formada a partir do barramento do Rio das Antas

O trabalho foi desenvolvido sobre duas concessões minerárias da Alcoa/CGM – Companhia Geral de Minas, onde foram lavrados corpos de minério para extração de bauxita em diferentes épocas.

As características gerais da área de estudo foram levantadas a partir de consultas a estudos prévios sobre a região e a mapeamentos executados por órgãos públicos e pela própria CGM. A Tabela 2 traz os parâmetros considerados na caracterização e a fonte da base de dados utilizada no processo.

Tabela 2 – Base de dados para caracterização geral da área de estudo.

Parâmetro	Fonte
Localização	Cartas do IBGE – Escala 1:50.000
Concessões Minerárias	Companhia Geral de Minas
Vegetação e uso do solo	Mapa de cobertura vegetal dos biomas brasileiros – Mata Atlântica. Carta SF-23-V-D_MA – Escala 1:250.000 – Ministério do Meio Ambiente
Geologia	Mapa geológico – Escala 1:100.000. CODEMIG.
Pedologia	Mapa de solos do Brasil – Escala 1:5.000.000. EMBRAPA
Topografia	Modelo Digital de Terreno (MDT) – Resolução de 90 metros. SRTM

Fonte: Autor.

De posse da base de dados, utilizou-se do software ArcGIS 10.5.1 para processamento das informações e elaboração dos seguintes mapas: Relevo/Declividade; Litologia e Pedologia (Apêndices: I,II, III,IV ).

#### 4.1.1 Localização e definição de tratamentos (áreas amostrais).

A Figura 1 traz a localização de todas as áreas e os respectivos tratamentos aplicados para o estudo. As áreas restauradas foram submetidas a mesma estratégia, sementeira da gramínea *Aristida sp.* para a colonização (processo de plantio descrito na Figura 6). As áreas foram classificadas quanto ao ano de restauração, resultando em 4 áreas com plantios efetuados em 2011, 2012, 2013 e 2015, área aberta sem cobertura vegetal (passou apenas pela remoldagem topográfica) e a área nativa, classificada como referência, por ter passado 30 anos sem nenhuma interferência antrópica.

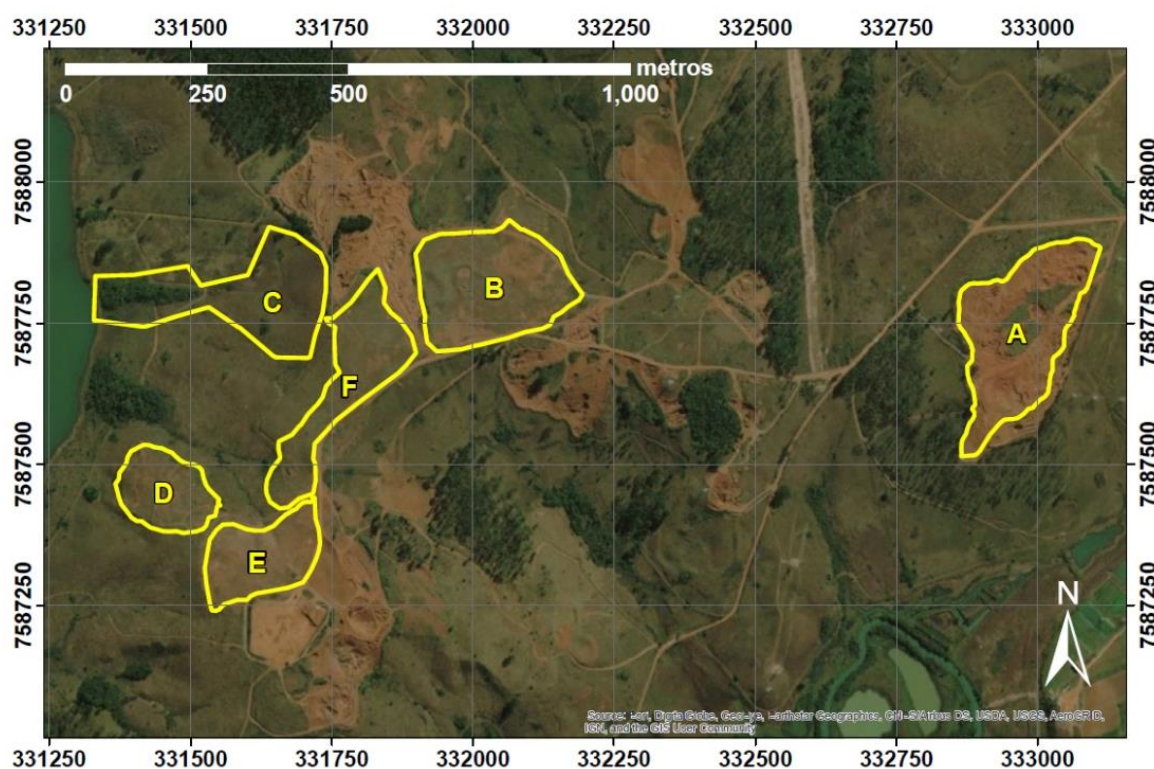


Figura 2 – Localização das áreas de estudo.

- Legenda: A) Área aberta;  
 B) Área restaurada no ano de 2011;  
 C) Área nativa (referência);  
 D) Área restaurado no ano de 2013;  
 E) Área restaurada no ano de 2015.

Fonte: Adaptada de Google, 2017.

Ao longo dos anos, após a implantação da semeadura da gramínea *Aristida sp.*, as áreas que receberam o plantio passaram por perturbações (queimadas) e foram manejadas, já as áreas nativas e a área aberta não foram submetidas ao processo de restauro ecológico, e nem passaram por processos de perturbações, a Tabela 3 mostra as ações contempladas em cada um dos tratamentos.

Tabela 3 – Detalhamento de ações de manejo e perturbações ocorridas nas áreas que receberam o plantio da gramínea *Aristida sp.*

Área de Estudo	Detalhamento	Perturbações (queimada)/qtd
2011	Plantio da gramínea <i>Aristida sp.</i> no ano de 2011. Não houve manejo para controle de plantas invasoras. A área foi atingida por incêndio no ano de 2013, queimando 100% da parte aérea da vegetação.	1
2012	Plantio da gramínea <i>Aristida sp.</i> no ano de 2012. Não houve manejo para controle de plantas invasoras. A área foi atingida por incêndio no ano de 2013 e 2014 queimando 100% da parte aérea da vegetação.	2
2013	Plantio da gramínea <i>Aristida sp.</i> no ano de 2013. Não houve manejo para controle de plantas invasoras.	-
2015	Plantio da gramínea <i>Aristida sp.</i> no ano de 2015. A área recebeu manejo para controle de espécies invasoras, onde foram retirados mecanicamente as espécies invasoras.	-
Aberta	Área foi decapada em 2012, onde estocou-se o <i>Top Soil</i> no interior da área de lavra. Hoje encontra-se reconformada, sua superfície está remoldada, porém não recebeu o manejo de Restauro de Campo de Altitude com a semeadura da gramínea <i>Aristida sp.</i> , encontra-se sem cobertura vegetal.	-
Nativa	Área que não sofreu intervenção ambiental e possui as características de fitofisionomia de campos altimontanos em estágio avançado de sucessão.	-

Fonte: Autor.

#### 4.1.2 Relevo e classe de solo da área de estudo.

O relevo da área de estudo foi classificado conforme as classes de relevo do município de Poços de Calda (Tabela 1). A Figura 3 traz a distribuição da declividade nos tratamentos do estudo.

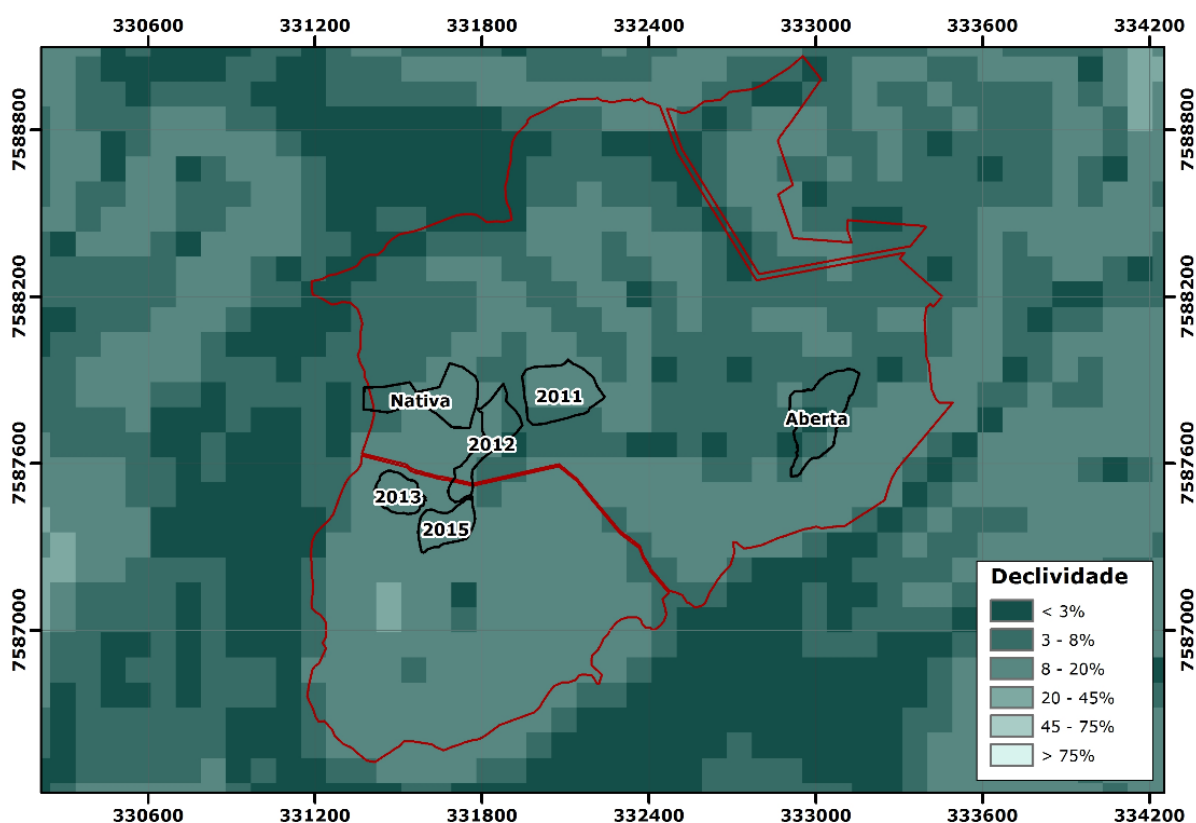


Figura 3 – Mapa de declividade da área de estudo com áreas de diferentes idades que passaram pelo processo de Restauro de Campos de Altitude, área aberta (sem cobertura vegetal) e a área nativa.

Fonte: Autor.

As classificações do solo das áreas estudadas estão inseridas no domínio do cambissolo háplico, mais especificamente caracterizados como Tb Distróficos, com argila de baixa atividade e baixa saturação por bases ( $V < 50\%$ ) predominantes nos primeiros 100 cm do horizonte B (EMBRAPA, 2006), conforme mostra figura 4.

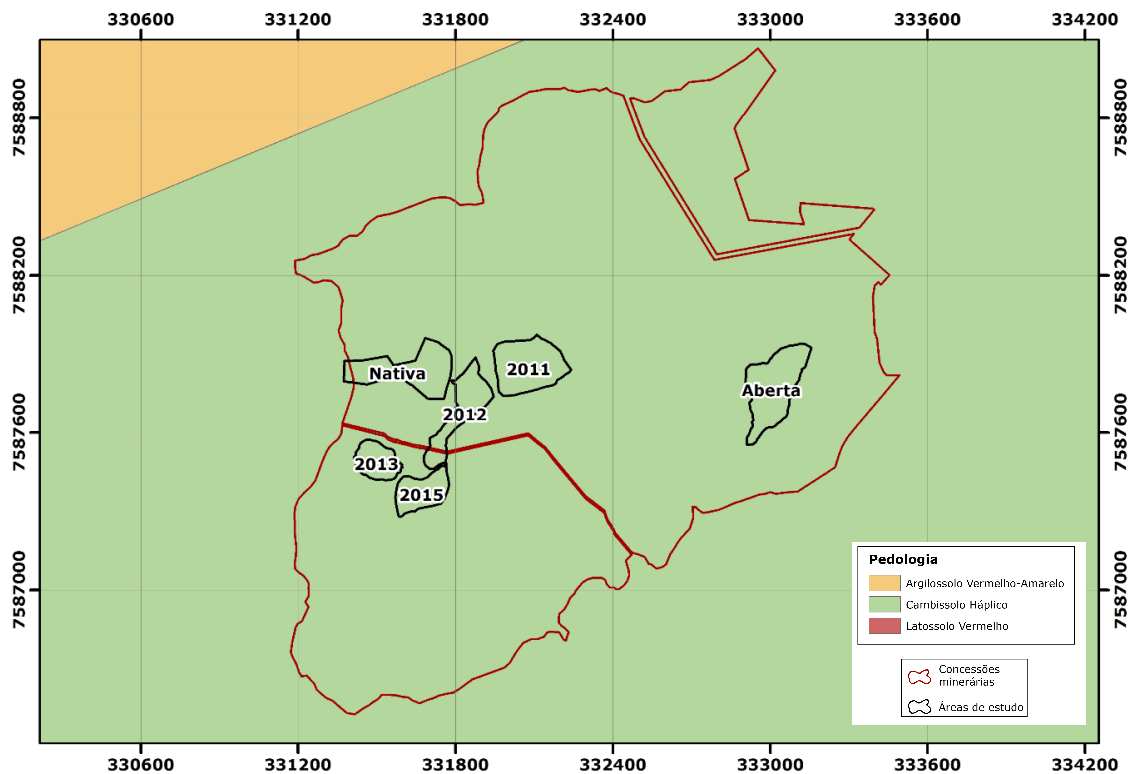


Figura 4 – Mapa de classificação do solo das áreas de diferentes idades que foram submetidas a estratégia de Restauração de Campos de Altitude, área aberta (sem cobertura vegetal) e a área nativa.

Fonte: EMBRAPA, 2006.

## 4.2 Estratégia de Restauração de Campos de Altitude nas áreas após a extração de bauxita

### 4.2.1 Remodelagem da Topografia e Recomposição do Topsoil

A reabilitação de áreas mineradas para extração de bauxita foi realizada a partir da abertura do corpo de minério. A camada mais superficial do solo – Horizonte A – foi decapeada com a utilização de um trator de esteira e estocada nas bordas do corpo de minério. Esta parte do solo, denominada *topsoil*, não é aproveitada no processo produtivo por sua alta concentração de matéria orgânica; motivo pelo qual é desejável no processo de reabilitação na mina, o que aumenta a fertilidade para o plantio de recuperação.

Quando há a exaustão do minério de bauxita, o corpo de minério é “fechado”, em um processo formado por uma série de operações. Inicialmente, a área é

remoldada com utilização do trator de esteira, para que sua topografia se torne mais próxima possível do que era antes de ser minerada, sendo adequada à recuperação e impedindo danos erosivos. Valetas de drenagem e bacias de contenção de sólidos também são feitos com este intuito. Após a remodelagem da área, ainda com a utilização do trator de esteira, o *topsoil* é espalhado pela área, incrementando uma camada fértil de solo sobre a superfície minerada.

Após o *topsoil* ser espalhado, ocorre a escarificação. Esta operação consiste no corte vertical ou perfuração do solo com uso de trator com o implemento chamado escarificador. Estes cortes têm como finalidade aumentar a rugosidade do solo, a aeração e infiltração de água e reduzir a velocidade do escoamento que causa erosão.

Segundo Bizuti (2017), a distribuição do topsoil e o desenvolvimento posterior da vegetação regenerante a partir de seu banco de sementes e do plantio de mudas promove destacado incremento nos níveis de matéria orgânica do solo, alcançando praticamente mais da metade daqueles encontrados nas matas maduras (em média 50 g kg<sup>-1</sup>), na profundidade de 0-20 cm. Esse pode ser o principal ganho obtido com as intervenções de restauração, dado o papel chave que a matéria orgânica desempenha em solos tropicais para regular a disponibilidade de nutrientes, contribuir para a estruturação do solo (FERNÁNDEZ-ONDÑO et al., 2010; GRIGAL; VANCE, 2000), auxiliar na retenção de água e prover energia para comunidades de microrganismos (CONSTANTINI et al., 2016; CASTRO et al., 2015; GRAHAM; HAYNES, 2004).

#### 4.2.2 Plantio e manejo da vegetação de campos de altitude

A coleta de sementes do capim *Aristida sp.* foi realizada nos meses de novembro a fevereiro, com a utilização de um simples rastelo. As sementes ficam presas aos dentes do rastelo, formando um emaranhado de panículas, as quais são transportadas para as áreas a serem recuperadas. A semeadura foi realizada a lanço, manualmente, com alguma separação do emaranhado de panículas contendo sementes de *Aristida sp.* Não houve adubação ou correção do solo, uma vez que o capim nativo já está adaptado à alta presença de alumínio no meio. O acompanhamento é realizado durante três anos subsequentes ao plantio e, se necessário, é realizada novamente uma semeadura para manutenção.

Todas as áreas contempladas neste estudo foram submetidas a mesma estratégia de restauração, conforme sequência da Figura 5.



Figura 5 – Sequência de semeadura do capim *Aristida* sp.

- Legenda: A) Coleta da semente utilizando rastelo;  
 B) Semente coletada;  
 C) Paina: estrutura botânica onde fica armazenada a semente;  
 D) Armazenamento da semente;  
 E) Semeadura manual a lanço;  
 F) Semeadura concluída.

Fonte: Autor.

### 4.3 Solo: coletas para análises dos atributos químicos, físico, cobertura vegetal e condutividade hidráulica do solo.

#### 4.3.1 Parâmetros químicos

Para a caracterização físico-química do solo, foram distribuídos 13 pontos no interior de cada área amostral com exceção da área nativa, onde formou-se uma malha de 15 pontos. Somando-se às 12 parcelas, que também foram amostradas,

chegou-se a um total de 92 pontos de análise. As coletas de solo foram realizadas na profundidade de 0 a 20 cm (com homogeneização do volume de solo removido) e as amostras foram identificadas e analisadas conforme (EMBRAPA, 2017). Os parâmetros químicos avaliados foram: M.O, pH, P, K, Ca, Mg, Al trocável, Acidez potencial, S, Cu, Fe, Mn, Zn, SB, CTC total, CTC, m%, V%, KCTC, Ca CTC, Mg CTC, Al CTC, H CTC, Ca/Mg, Ca/K, Mg/K.

#### 4.3.2 Parâmetros físicos e de condutividade hidráulica do solo saturado.

Os dados de densidade e porosidade do solo também foram obtidos para os 92 pontos amostrais. Para a determinação da densidade global do solo, de sua porosidade, além da condutividade do solo saturado, foram coletadas nas parcelas de monitoramento da perda de solo e escoamento superficial direto amostras de solo indeformadas, com um amostrador do tipo Uhland, cujos cilindros possuíam 6,9cm de diâmetro e 8,2cm de altura (Apêndice VI), perfazendo um volume de solo (VS) de 306,2cm<sup>3</sup>.

As amostras de solo indeformadas foram colocadas para saturação por um período mínimo de 48 horas, após o que, se eliminou o excesso de água e pesou-se para determinação da massa úmida do solo saturado (UM). Em seguida os cilindros com as amostras foram colocados num permeâmetro sob carga constante, para determinação da condutividade hidráulica do solo saturado, sendo quantificada a vazão (Q) sob condição de fluxo constante de água. Após esta análise, as amostras foram levadas à estufa por um período de 48 horas a uma temperatura de 105 °C ( $\pm 3$  °C) e, após a secagem, foram pesadas para determinação de sua massa seca (MS). Com as massas de saturação e seca de cada amostra foi possível determinar a densidade e porosidade total do solo para cada ponto amostrado.

A densidade global do solo ( $\rho_g$ ) foi obtida por:

$$\rho_g = MS/VS$$

A porosidade do solo (POR) foi obtida por:

$$POR(\%) = 100 * (MU - MS)/VS$$

## 4.4 Monitoramento da perda de solo e do escoamento superficial direto

### 4.4.1 Determinação das áreas e parcelas

Dentro de cada tratamento foram construídas duas parcelas para o monitoramento do escoamento superficial direto (ESd) e das perdas de solo (PS), com dimensões 2,5m x 4,0 m, totalizando uma área de 10 m<sup>2</sup> em cada parcela (Figura 6). Dentro de cada unidade foi instalado um pluviômetro para registro da precipitação pluvial nas áreas estudadas. Em cada área, foram montadas duas parcelas buscando representar as principais faixas de declividade encontradas na área, sendo os intervalos de declividade de 0 a 20% e 20 a 40%, uma vez que este fator influencia no regime de escoamento superficial direto e com consequências diretas na perda de solo.

O comprimento da parcela acompanha o sentido do declive do terreno. As parcelas foram contornadas com chapas galvanizadas com 40cm de largura, enterradas a uma profundidade de 20cm. Na parte inferior das parcelas foram colocadas calhas coletoras, para conduzir a enxurrada até dois tanques coletores instalados em série. O sistema coletor é constituído de um tanque de sedimentação, munido de um divisor do tipo Geib de 9 janelas (Brito et al 2005), e um tanque coletor de água e sedimentos. A partir do sistema divisor tipo Geib, após o enchimento do tanque de sedimentação, 1/9 de água da enxurrada é conduzida ao segundo tanque, através de uma canaleta. Dentro do tanque de sedimentação, foi instalada uma régua com fins de leitura da altura da lâmina d'água na caixa. As coletas de sedimento e água da enxurrada foram realizadas para todo evento de chuva que acarretou a formação de escoamento superficial (chuva erosiva).

As coletas foram realizadas no período compreendido entre 07 de abril de 2017 e 02 de março de 2018. As perdas de solo e água foram expressas em Mg ha<sup>-1</sup> período-1 e mm, respectivamente, sem repetições (BRITO et al., 2005). O potencial de arraste de sedimentos do solo (PAS) foi calculado, dividindo-se as perdas de solo pelas perdas de água. (BRITO et al., 2005). O coeficiente de escoamento superficial (C) foi obtido a partir da relação entre o escoamento superficial direto e a precipitação pluvial.

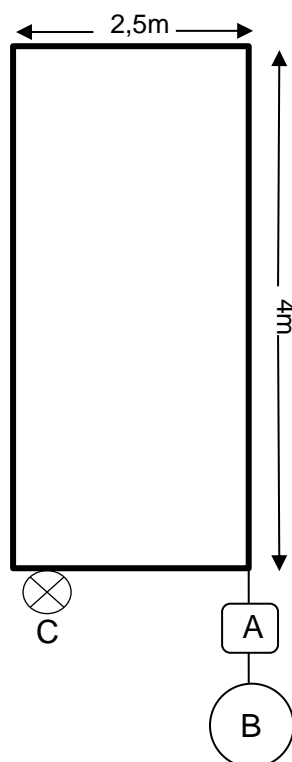


Figura 6 – Esquema das parcelas de monitoramento das perdas de solo e água.

Legenda: A) Caixa 1 - coletora com divisor tipo Geib de 9 janelas direcionando para a segunda caixa;  
B) Caixa 2 – capacidade de 50L receptora do excedente da caixa 1;  
C) Pluviômetro.

Fonte: Autor.

#### 4.4.2 Coleta das amostras para análise de perda de solo

As etapas de campo ocorreram após eventos de precipitação isolados, com intervalo entre as chuvas superior a 6 horas. Durante as visitas, realizava-se a leitura do pluviômetro transferindo o volume de água contido no mesmo para proveta graduada de 1000 mL. Em seguida, efetuava-se a leitura da lâmina de água das caixas coletoras e a retirada de uma alíquota de 200 mL água após homogeneização do seu conteúdo. As amostras recebiam então um volume de 2 mL de hipoclorito de sódio (agente coagulante) e eram armazenadas por no mínimo 24 horas para ação do mesmo e deposição da fase sólida no fundo do recipiente. Os frascos eram submetidos à secagem em estufa na temperatura de 60° C até que a água fosse completamente eliminada, e após a secagem eram pesados para obtenção da massa de sólidos (Apêndice VI).

A partir do valor da massa se solo nas amostras, calculou-se a perda de solo por unidade de volume escoado (PS – g/cm<sup>3</sup>) para cada parcela. O primeiro dado de interesse das parcelas se trata do escoamento superficial direto – Esd. O mesmo foi obtido a partir das curvas de calibração dos dois modelos de caixas utilizadas em cada parcela. A figura 10 traz os gráficos obtidos da calibração, assim como as equações do ajuste linear e seus respectivos coeficientes de determinação. De posse da equação e da lâmina d'água registrada nas caixas a cada evento chuvoso, foi calculado o Esd em litros e em milímetros.

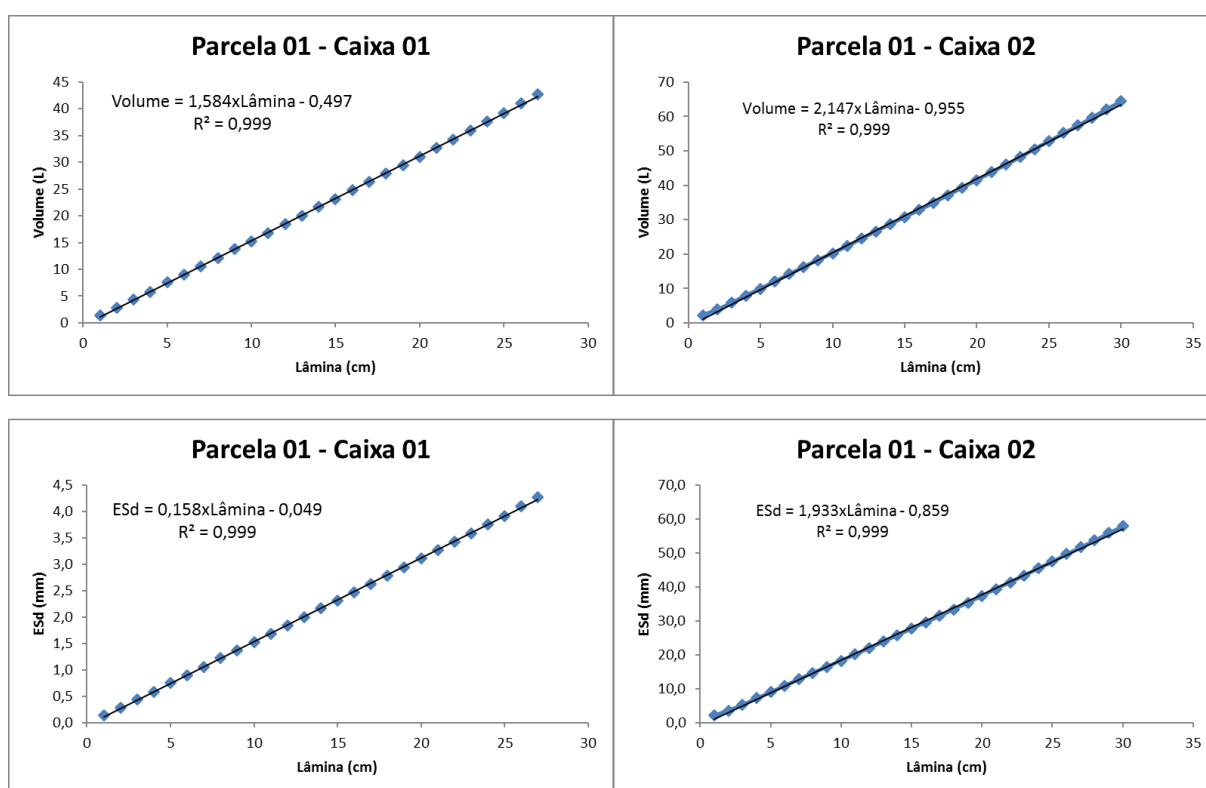


Figura 7 – Curvas de calibração das caixas de coleta.

Fonte: Autor

Em seguida, determina-se a massa de solo ( $M_s$ ) a partir do resultado das pesagens dos frascos vazios ( $M_1$ ) e após o processo de coleta e secagem ( $M_2$ ):

$$M_s = M_2 - M_1 \quad (1)$$

A perda de solo (PS), em g/cm<sup>3</sup>, é obtida pela relação entre a massa de solo presente no frasco ( $M_s$ ) e o volume de água coletado ( $V$ ), que corresponde a 200 mL devido ao frasco utilizado:

$$PS = \frac{M_s}{V} \quad (2)$$

Também, para cada parcela em cada evento chuvoso, determinou-se a lâmina d'água precipitada ( $h_p$ ) a partir do volume acumulado nos pluviômetros ( $V_p$ , em litros) e da sua área ( $A_p$ , em  $m^2$ ).

$$h_p = \frac{V_p}{A_p} \quad (3)$$

#### 4.5 Análise da cobertura vegetal

Para análise da cobertura vegetal foi utilizado uma adaptação da metodologia traçada por Stocking (1994). Segundo Albernaz e Lima (2006) a metodologia foi testada por Magalhães et. al. (2004) em um estudo de análise de cobertura vegetal em pastagens, onde mostrou-se estatisticamente semelhante ao método de Stocking.

O método para este trabalho consiste na utilização de um quadrante de PVC com a dimensão de  $1m^2$ , o qual era lançado sobre as adjacências dos pontos amostrais, os mesmos utilizados para coleta de solos e para análise de escoamento superficial (parcelas), onde fez-se a leitura da visada vertical simultaneamente de três observadores (Figura 8). A leitura se repetiu por toda a área totalizando 168 pontos de coleta de dados. Estes dados foram tabulados em planilhas do aplicativo Excel 2010, onde fez-se a média de cada ponto amostral.

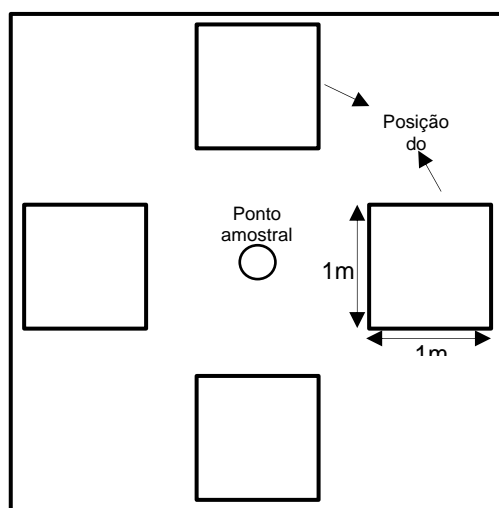


Figura 8 – Croqui representativo da metodologia adaptada de Stocking (1994) para análise da cobertura vegetal.

Fonte: Autor.

## 4.6 Análise Estatística

Para a análise estatística foi utilizado R Core Team (2017), onde foi realizada análise de componentes principais (PCA) através do pacote factextra (Kassambara e Mundt, 2017) para selecionar as variáveis com a maior porcentagem de variância de cada componente. Duas componentes explicaram a maior variância dos dados. Assim, dentro de cada componente foi observado a correlação positiva ou negativa das variáveis com a componente e entre si. Foram selecionadas as variáveis de maior correlação (valores mais próximos de 1,00) com as componentes 1 e 2, e um gráfico de Biplot foi gerado para representar as variáveis dentro das componentes. A partir das variáveis com maior correlação foi testada a confiabilidade do modelo, ou seja, o nível de certeza da representação de cada variável dentro da componente, através do teste de  $\cos^2$  (valores próximos de 1,00 significavam maior a confiabilidade do modelo). Desta forma, foram selecionadas as variáveis que atendiam este critério em ambas as componentes. Após aferida a precisão, foi calculada a contribuição de cada variável para a variância da componente.

As variáveis selecionadas na PCA foram submetidas a uma análise de regressão através de modelos lineares generalizados (glm) utilizando o pacote stats (R Core Team, 2017). A regressão utilizou a 6 áreas (variável explanatória) e todas as variáveis analisadas (variáveis respostas). Desta forma, foi avaliado o efeito causado pela variável explanatória nas variáveis respostas por meio da ANOVA e teste do Chi-quadrado ( $p < 0,05$ ). Uma vez que foi observado significância na análise de regressão, foram realizados gráficos de barra, com erro padrão comparando as 6 áreas.

Para determinação do comportamento das variáveis em função do tempo foram utilizadas regressões linear e quadrática.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Atributos físicos e químicos do solo

Após submeter os dados ao *Teste de  $\cos^2$* , constatou-se que as áreas Nativas, Aberta e 2011, são as mais correlacionadas entre si (Figura 9), logo bem representadas pelo modelo e ficando todas agrupadas no mesmo quadrante.

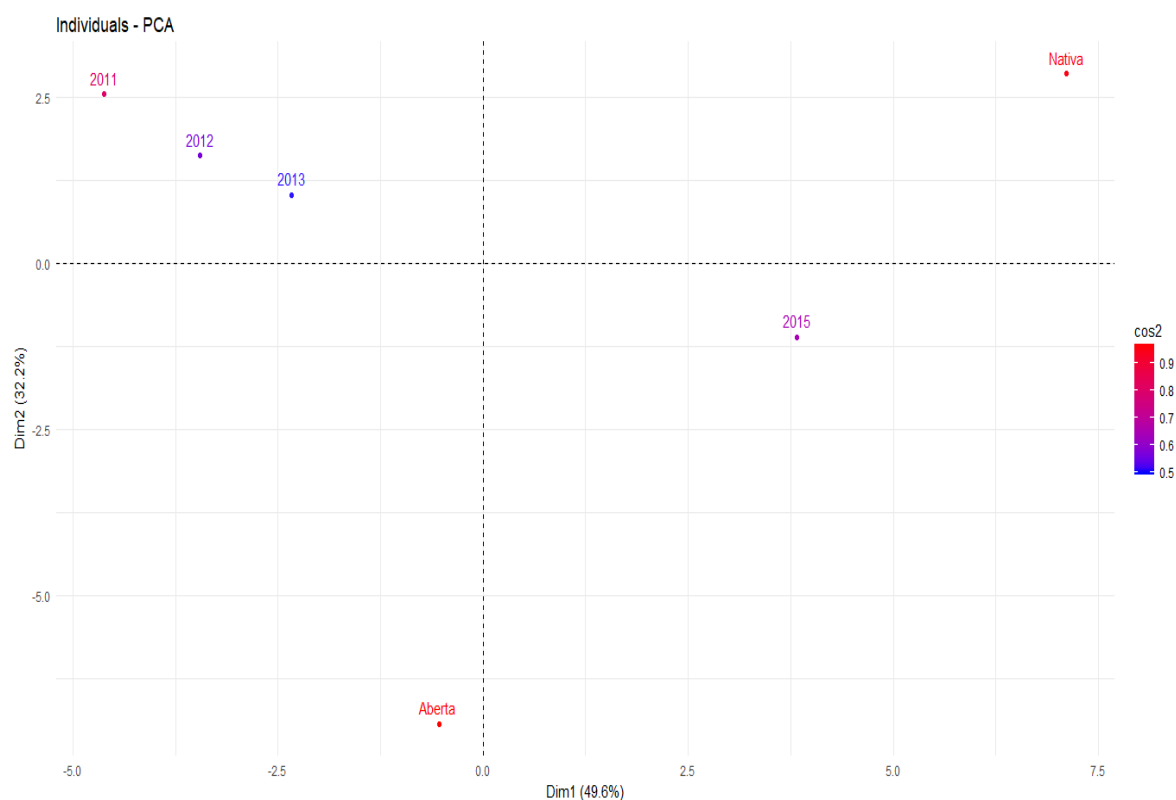


Figura 9 – Distribuição da correlação das diferentes idades avaliadas pelo Teste de  $\cos^2$ .

Fonte: Autor

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios e respectivos desvios para os parâmetros físicos do solo avaliados em cada área avaliada.

Tabela 4 – Parâmetros físicos do solo avaliados nas áreas recuperadas, aberta e nativa.

Unidades amostrais	Densidade do solo (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidade total (%)	Argila (g/kg)	Silte (g/kg)	Areia total (g/kg)
2011	1,09 ± 0,08	51,0 ± 5,76	479 ± 60,1	273 ± 55,5	248 ± 85,0
2012	1,15 ± 0,07	47,6 ± 6,23	503 ± 53,0	222 ± 43,1	275 ± 66,9
2013	1,09 ± 0,05	51,3 ± 3,91	524 ± 60,0	249 ± 50,0	227 ± 72,8
2015	1,10 ± 0,14	53,1 ± 10,2	539 ± 44,8	289 ± 46,2	172 ± 37,0
Aberta	1,12 ± 0,08	51,5 ± 6,3	444 ± 77,5	372 ± 52,8	184 ± 77,4
Nativa	0,98 ± 0,21	57,5 ± 12,0	489 ± 98,3	295 ± 53,5	215 ± 115,1

Fonte: Autor

O tempo de inserção de gramíneas, não apresentou efeito na densidade/aparente do solo, visto que os seus valores foram estatisticamente iguais aos observados no solo sem cobertura e na área nativa.

A porosidade apresentou comportamento semelhante à densidade, bem como a textura. Stumpf et al. (2016) observaram resultados semelhantes quando avaliaram o efeito das gramíneas nas propriedades físicas de solos reconstruídos, afirmando que, somente após vários anos de plantio é possível observar alterações nas propriedades físicas, uma vez que estão intimamente relacionadas à matéria orgânica, a qual é gradativamente adicionada ao solo pelas plantas.

Observou-se que as variáveis: cobertura do solo, MO, Ca, Mg, Al trocável, saturação por bases, acidez potencial (H+Al), CTC total e Al CTC (Tabela 5), explicaram 81,8% da variância dos dados (Figura13). Os atributos físicos do solo não obtiveram correlação significativa com as componentes principais geradas (Figura 10).

Tabela 5 – Atributos químicos e cobertura vegetal do solo que melhor explicam a diferença e similaridade entre as áreas analisadas.

Cobertura vegetal(%)	M.O (g/dm <sup>3</sup> )	Ca (mg/dm <sup>3</sup> )	Mg (mmolc/dm <sup>3</sup> )	Al trocável (mmolc/dm <sup>3</sup> )	V(%)	H+Al (mmolc/dm <sup>3</sup> )	CTC total (mmolc/dm <sup>3</sup> )	Al CTC(%)
90	12,93	7,53	1,33	1,8	13,3 3	29,73	44,99	8,96
69	13,13	8,13	1,07	0,53	25,5 5	29,87	39,19	3,4
80	12,93	2,57	1,79	4,57	30,2 4	39,5	38,32	1,73
93	21,47	1,07	1	2,33	22,0 6	20,2	41,64	2,01

0	3,40	9,07	1,07	1,8	14,04	34,13	23,29	7,73
100	42,27	3,88	2,59	12,06	56,31	73,53	86,18	14,32

Fonte: Autor.

A região onde localizam-se as áreas tem um intenso histórico de queimadas, devido ao uso e ocupação das áreas nas adjacências, uma vez que há predominância de pastagem e culturas agrícolas na do entorno. As áreas de 2011 e 2012 sofreram com queimadas nos anos 2013 e 2014 (Tabela 7). A área plantada em 2011 foi atingida pelo incêndio ocorrido em 2013 apenas, enquanto a área de 2012 foi acometida pela queimada por dois anos consecutivos (2013 e 2014).

Em estudo realizado por Redin et al. (2011), foi salientado que a ação do fogo provoca de forma direta e indireta uma série de modificações de natureza química e biológica no solo, podendo assim explicar similaridades entre as áreas estudadas. Ainda segundo o autor, aumentos de teores de nutrientes como Ca e Mg, ocorrem devido a mineralização imediata após ação do fogo (CEDDIA et al. 1999; GATO et al. 2003 e RHEINHEIMER et al. 2003) Nas análises de correlações foi possível observar que há uma correlação negativa (1º quadrante) Ca e Mg e positiva para o Al (2º quadrante), apresentadas na Figura 10.

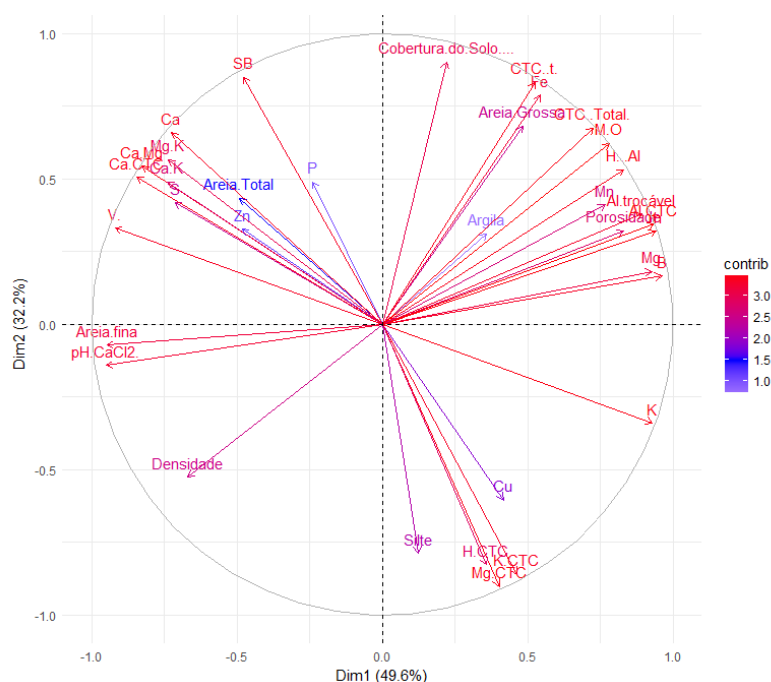


Figura 10 – Correlações com as componentes principais para atributos químicos e físicos do solo, em áreas submetidas a restauração de campos de altitude com idades diferentes, área aberta e nativa, após mineração no município de Poços de Caldas.

Em trabalho realizado por Rheinheimer et al. 2003 em campos nativos na região Sul, após processos de queima da vegetação observou-se a ocorrência de um comportamento similar, houve correlação negativa para as variáveis Ca e Mg e correlação positiva para o Al.

Nas áreas não impactadas pela queimada (Tabela 7), a acidez potencial do solo foi maior do que nas áreas onde houve a perturbação, exceto a de 2015. Segundo Rheinheimer et al. 2003, o solo de uma área cujo campo nativo foi queimado apresenta elevação do pH, especialmente na camada superficial. As coletas de solo das áreas em questão, ocorreram em camadas superficiais assim como as realizadas no trabalho de Rheinheimer et al. 2003.

Em áreas de savanas, a ação do fogo altera a proporção de espécies arbóreas e herbáceas no tempo e no espaço, levando a alterações significativas na produção de biomassa destas áreas, e conseqüentemente alterando a acidez potencial do solo (CIANCIARUSSO et al. 2010).

Bizuti (2015), em estudo realizado em áreas de restauração florestal após a extração de bauxita encontrou valores de acidez trocável (AL) e acidez potencial (H+AL) menores do que em suas áreas de referência (Florestal nativa), corroborando com o comportamento observado para áreas de campos de altitude do presente estudo.

A remoção da bauxita pela mineração e o conseqüente empobrecimento do substrato em Al (BIZUTI 2015), pode ter contribuído de forma substancial para o sucesso do estabelecimento da cobertura vegetal das áreas em processo de restauração, uma vez que os valores observados para o percentual de cobertura vegetal estão bem próximos aos da área nativa (Tabela 6).

O incremento de M.O. nas áreas de campos de altitude após a extração de bauxita é altamente dependente da camada de *topsoil* que retorna às áreas. Neste contexto, Bizuti (2015) afirma que a distribuição do *topsoil* e o desenvolvimento posterior da vegetação regenerante a partir de seu banco de sementes promoveu destacado incremento nos níveis de matéria orgânica do solo, em área restaurada com floresta nativa. Moreira (2004) avaliando os solos da região do planalto de Poços de Caldas (MG) após a mineração de bauxita; relatou que solos recompostos com *topsoil* são mais férteis e com maior possibilidade de sucesso na reabilitação do que solos reconstruídos sem a distribuição do *topsoil*.

Para entender o efeito do tempo de recuperação no comportamento das variáveis do solo foram realizadas análises de regressões. Nas Figuras 11 e 12 foram apresentadas as equações que melhor representaram o comportamento das variáveis químicas em função do tempo de recuperação na profundidade de 0-20 cm.

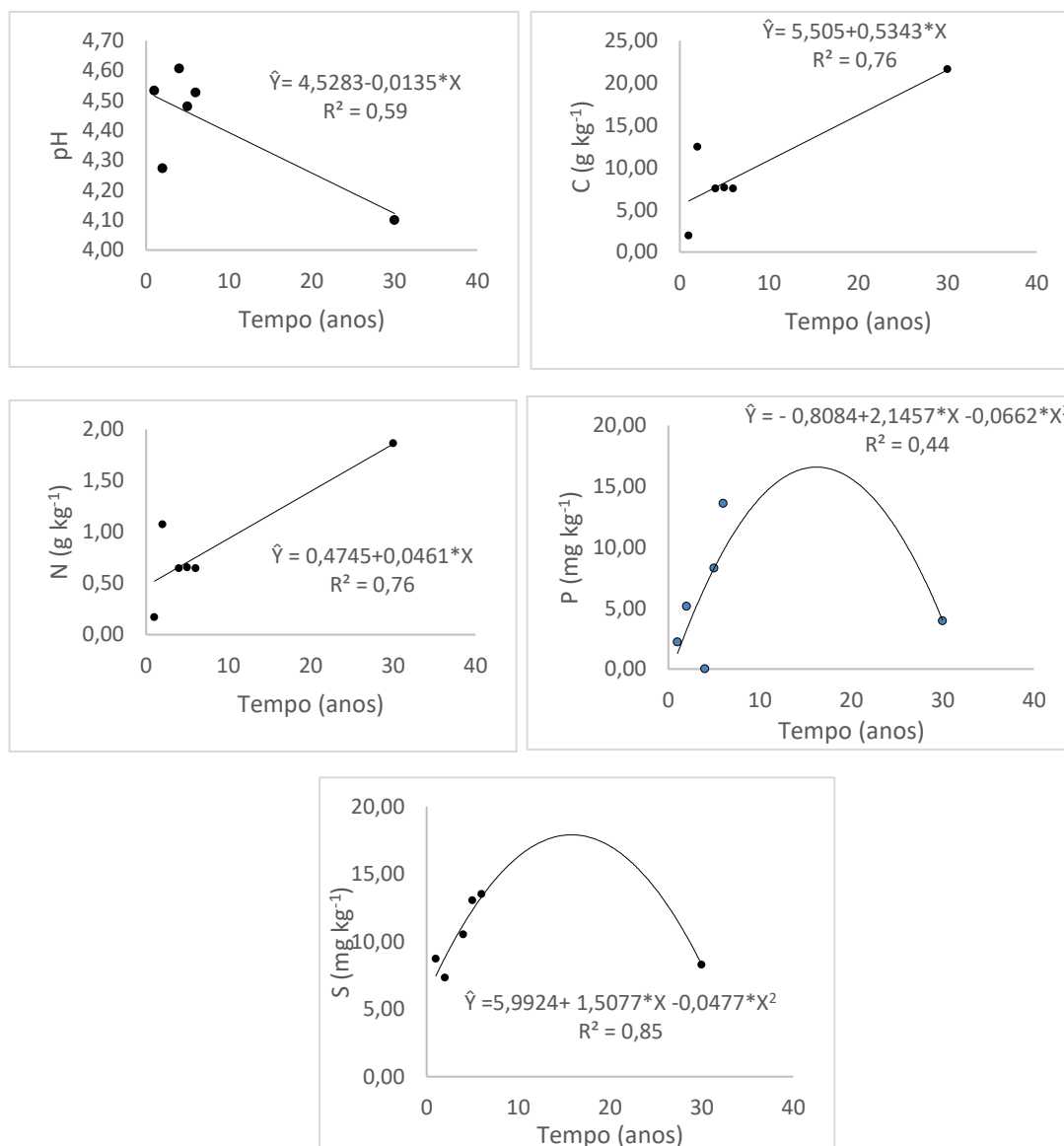


Figura 11 – Regressões ajustadas para o pH, C, N, P, S do solo na profundidade de 0-20 cm em função do tempo de recuperação de Campos de Altitude. Significativo a \* $P < 0,05$ .

Fonte: Autor.

O pH em  $CaCl_2$  diminuiu linearmente para a profundidade estudada e os maiores valores ocorreram no período 4 e 5 anos por influência da queima, isto pode ter ocorrido devido as bases que foram liberadas nas cinzas. Na área Aberta (1 ano) onde não foi influenciada pela queima obtiveram-se maiores valores, o que pode ter ocorrido

em função de troca ou complexação de  $H^+$  e  $Al^{+3}$  para  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  de alguns compostos orgânicos no solo, conforme identificado por Amaral et al (2014).

O teor de carbono orgânico aumentou linearmente nas áreas 2011 (6 anos), 2012 (5 anos) e 2013 (4 anos) apresentando reduzidas concentrações em consequência da queima. A diminuição das concentrações do carbono orgânico está relacionada com a elevação da temperatura que, promove perdas de dióxido de carbono por volatilização, sendo a temperatura, a intensidade da queima e a natureza química da vegetação queimada, os fatores determinantes da composição química do produto formado (POTES et al.2010).

Na área Aberta, verificou-se menor concentração de carbono. Tal fato pode ocorrer devido a aceleração da atividade microbiana, que contribui para o consumo do carbono orgânico (ASSAD,1996; REDIN et al, 2011).

Os teores de nitrogênio são menores em áreas com influência do fogo devido as perdas por volatilização e lixiviação do nitrogênio na forma de nitrato, como relata BANO (1989). O fogo faz com que o N seja liberado para solução do solo deixando susceptível a perdas por percolação e volatilização (MROZ et al 1980). Este atua como catalisador acelerando o processo pelo qual o nitrogênio orgânico é convertido em nitrogênio mineral, fato denominado por KENNARD e GOLZ, (2001) e EKINCI, (2006) de mineralização rápida.;

Os menores teores de fósforo ocorreram nas áreas Aberta e 2013 (com influência do fogo). O fogo acelera o processo de disponibilização do fósforo para a solução por mineralização rápida (POMIANOSKI et al., 2006; VIERIA, 2016).

Assim como o P, os maiores teores de enxofre ocorreram nas áreas de influência pela queima. A maior parte do enxofre que também se encontra na forma orgânica, como proteínas, aminoácidos, peptídeos, tiocianatos e outros compostos orgânicos; é mineralizado rapidamente e formas de  $H_2S$  passa a  $SO_4^{2-}$ , parte é perdido por volatilização, e parte reage com o  $Fe^{2+}$  produzindo  $FeS$ .

Para os cátions trocáveis do solo Ca, Mg, K e Al ajustou-se os modelos quadrático e linear ( Figura 12).

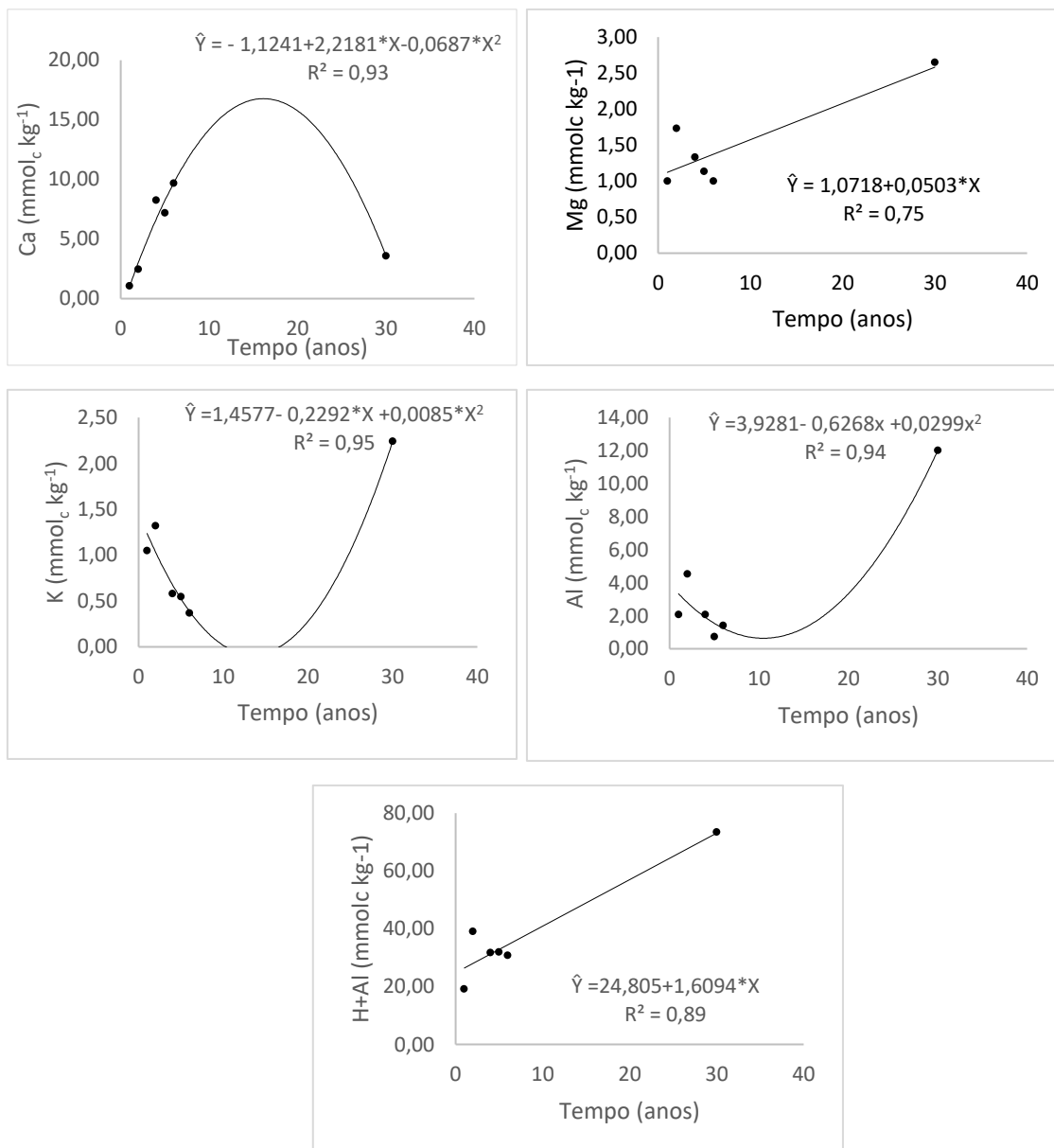


Figura 12 – Regressões ajustadas do Ca, Mg, K, Al e H+Al do solo na profundidade de 0-20 cm em função do tempo de recuperação de Campos de Altitude. Significativo a \*P<0,05.

Os maiores teores de Ca do solo ocorreram nas áreas com influência do fogo. Em um estudo realizado com queima controlada em povoamentos de *Pinnus caribea* e *Pinnus oocarpa*, foi observado que os teores de Ca aumentaram sua concentração após a queima (SOARES, 1990). Supõe-se que o aumento na concentração de Ca tenha favorecido aumento da soma de bases, diminuição do alumínio trocável, elevação do pH, corroborando com o que descreve Bizuti (2015).

Apesar de baixos, os teores de magnésio aumentaram linearmente com o tempo de recuperação, e os maiores valores ocorreram nas áreas de 2015 e nativa.

Os teores de potássio apresentaram comportamento quadrático em função do tempo de recuperação (Figura 12). E assim como o K, os teores de Al e acidez potencial diminuíram nas áreas sob efeito do fogo. Supõe-se que o enriquecimento de bases pelas cinzas tenha contribuído para precipitação do Al. Para a acidez potencial, quanto mais favorecido o acréscimo de matéria orgânica maior serão os teores de acidez potencial, como um indicativo de ganhos em CTC.

## 5.2 Perda de solo e condutividade hidráulica

Na tabela 6 são apresentados os resultados associados à perda de solo e escoamento superficial direto em cada uma das áreas avaliadas.

Tabela 6 – Perdas de solo e escoamento superficial direto para as áreas estudadas.

Áreas amostrais	Declividade (%)	Perda de solo (Mg/ha)	Ksat (m/dia)	Esd (mm)	P (mm)	C	PAS (Mg.mm/ha)
Aberta	0 - 20	28,59	0,14	315,7	609,3	51,8	0,091
	> 20	32,8	0,07	317,8	630,9	50,4	0,103
2011	0 - 20	0,49	4,58	44,2	637,6	6,9	0,011
	> 20	0,18	3,95	30,6	629,3	4,9	0,006
2012	0 - 20	0,04	6,08	14,4	621,3	2,3	0,003
	> 20	0,03	4	9,4	622,6	1,5	0,003
2013	0 - 20	0,02	4,07	19,6	654,9	3	0,001
	> 20	0,07	3	20,6	621,9	3,3	0,004
2015	0 - 20	0,19	1,01	29,9	613,4	4,9	0,006
	> 20	0,7	0,88	50,2	585,7	8,6	0,014
Nativa	0 - 20	0,04	2,8	12,2	620,4	2	0,003
	> 20	0,34	2,38	17,2	717,2	2,4	0,02

Fonte: Autor.

Percebe-se que as perdas de solo são, em média, 161 vezes maiores na área aberta quando comparada a área coberta com a gramínea nativa. As áreas em processo de recuperação também apresentaram baixas perdas de solo com destaque para a área revegetada em 2012 seguida pelas áreas revegetadas em 2013, 2011 e 2015. Com exceção da área aberta, nas demais áreas verificaram-se perdas de solo abaixo da tolerância para a classe dos Cambissolos, que varia entre 2 e 4 Mg.ha.ano<sup>-1</sup>.

Em termos médios, as perdas de solo correspondem a 7% do admissível para a classe de solo, enquanto que para a área aberta os valores superam em 10 vezes o limite admitido como aceitável. Bispo et al. (2017) encontraram valores próximos ao deste estudo para pastagens bem manejadas na região Sul de Minas Gerais, com perdas de solo média de  $0,06 \text{ Mg. (ha.ano)}^{-1}$ .

Verificou-se perda de solo ligeiramente superior na área revegetada em 2012 para a declividade inferior a 20%, quando comparada a declividade superior a 20%; assim como perdas significativamente superior entre estas classes de declive para a área revegetada em 2011. Supõe-se que a ocorrência de queimadas nessas áreas e a intensidade da mesma, tenha contribuído para a desagregação estrutural do solo potencializando as perdas encontradas nestes.

A precipitação pluvial total no período analisado variou entre as unidades amostrais no intervalo de 585 e 717 mm e média de 630 mm, bem abaixo da média normal para região que é de  $1430 \text{ mm.ano}^{-1}$  (PMPC, 2011). Uma menor lâmina precipitada associada a um maior espaçamento entre os eventos chuvosos significativos permite que o solo apresente uma umidade antecedente aos eventos menor, favorecendo assim o processo de infiltração em detrimento do escoamento superficial direto.

A afirmação anterior apresenta um maior respaldo quando analisada em conjunto com as características físico-hídricas do solo das áreas estudadas. A condutividade hidráulica do solo saturado (KSAT) é a variável que traduz de forma efetiva o arranjo do solo e seu efeito no processo de infiltração. De maneira geral, as áreas revegetadas e nativa apresentam boa permeabilidade com valores superiores a  $1,0 \text{ m.dia}^{-1}$ , a exceção é a área aberta, com baixíssima condutividade de água no perfil do solo.

Os efeitos desta interação entre a cobertura, o solo e a lâmina precipitada pode ser analisada com base no coeficiente de escoamento superficial (C). O fator C traduz, em termos percentuais, o quanto da precipitação foi convertido em escoamento superficial direto. Percebe-se na área aberta alta produção de escoamento superficial direto com valores médios de 50 %. Já para as áreas com cobertura vegetal estes valores são inferiores a 10 %. Destaca-se também que quanto maior o tempo de recuperação, menor é a conversão de precipitação pluvial em escoamento superficial direto.

Volk et al. (2004), Castro et al (2006) e Gilles et al. (2009) em estudos sobre os efeitos da cobertura vegetal e manejo do solo na erosão do mesmo, atribuíram o aumento do fluxo superficial (maior perda de água) ao aumento da consolidação da superfície do solo.

Por fim, o potencial de arraste de sedimento por enxurrada (PAS) variou entre 0,001 e 0,10 Mg.mm.ha<sup>-1</sup>. O padrão persiste onde a área aberta apresenta os maiores valores de PAS e as áreas com cobertura vegetal os menores. Tais observações reforçam o papel da cobertura vegetal na interceptação da gota da chuva e dissipação de sua energia reduzindo o seu potencial erosivo (BRITO et al., 2005).

### 5.3 Porcentagem de Cobertura do vegetal

Neste item a avaliação de cobertura vegetal apresentou valores que estão muito próximos a da área de referência, conforme demonstrado na Tabela 7. Ainda nesta tabela, algumas ações ocorridas nas áreas submetidas ao processo de restauro de campos de altitude são apresentadas.

Tabela 7 – Porcentagem de cobertura vegetal e ações antrópicas.

Unidades amostrais	Eventos perturbantes (incêndio)	Ações de manejo	Cobertura vegetal(%)	% de Cobertura Vegetal nativa
2011	1	replântio	90	92
2012	2	replântio	69	65
2013	-	replântio	80	95
2015	-	replântio + controle de espécies exóticas	93	100
Nativa	-	-	100	100

Fonte: Autor.

Todas as áreas obtiveram cobertura vegetal acima de 50%, a menor taxa de cobertura vegetal ficou em 69%. Destaca-se que contribuindo para essas taxas de cobertura, observou-se alta participação de espécies nativas de campos de altitude, como fatores decisivos para o sucesso da cobertura vegetal, destaca-se a viabilidade das sementes e o isolamento de elementos perturbadores.

Com base na definição de restauração ecológica da SER (2004), alguns objetivos chave dentro da restauração precisam ser alcançados, dentre eles a obtenção de um conjunto de espécies nativas regionais com reduzida invasão de espécies exóticas; estar integrados a uma ampla paisagem ou matriz ecológica; estar isento de fatores de degradação e ser suficientemente resilientes para tolerar estresses naturais periódicos (BRANCALION, 2013).

Considerando que as áreas estão em sua maior parte ocupadas por espécies nativas e que a porcentagem de cobertura vegetal é em sua maioria superior a 80%, observou-se tendência das áreas recuperadas em se igualar à área nativa de referência (Tabela 7).

Importante observar que a área plantada no ano de 2012, sofreu duas perturbações causadas por queimadas em dois anos consecutivos, fato que explica a menor cobertura vegetal, que uma vez que sofreu degradações consecutivas, teve uma parte importante de seu sistema de restauração afetado, que é a perda do banco e das viabilidades das sementes que se encontravam estocadas na camada superior do solo. Segundo Camargo et al, (2013), em estudos realizados numa Floresta Estacional semidecidual, o fogo pode ocasionar uma redução da germinação de sementes em até 18,5%, ocasionando a redução da quantidade de espécies e números de indivíduos.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de restauração de Campos de Altitudes utilizando a gramínea *Aristida sp.* é pioneiro, não foi encontrado na literatura estratégia semelhante, logo não há referências de comportamento para a estratégia de restauração de campo de altitude em áreas pós exploração de bauxita.

As áreas submetidas ao processo de Restauração, onde foram analisados os atributos físicos, químicos, condutividade hidráulica e perda de solo mostraram que a medida que o tempo avança as variáveis analisadas apresentam melhora.

Este avanço torna-se clara quando observado o sucesso e a adaptação da cobertura vegetal, que assumem valores médios superiores a 80% de cobertura vegetal nativa. É possível afirmar que o fogo para a cobertura vegetal nas áreas que sofreram com esta perturbação não foi um fator de influência negativa para a porcentagem de cobertura vegetal. É possível que o número de ocorrência de eventos de fogo, não tenha sido suficiente para comprometer a cobertura vegetal.

Em contrapartida, o fogo foi um componente que interferiu diretamente nos atributos químicos do solo. Há melhorias nas variáveis químicas de fertilidade nas áreas restauradas quando comparados a área aberta e a área de referência. Elas estão mais próximas da área nativa do que da área aberta.

Para a perda de solo a estratégia de Restauo de Campo de Altitude mostrou-se eficiente, sendo a cobertura vegetal um fator relevante para evitar a perda de solo. Quanto maior a cobertura vegetal menor a perda de solo.

O fogo foi um fator determinante para potencializar a perda de solo na área de 2012 onde ocorreu o maior número de eventos.

A estratégia de Restauo de Campos de Altitude é eficiente, mostra melhorias dos atributos químicos do solo, da taxa de cobertura vegetal e minimiza a perda de solo por erosão.

## REFERÊNCIAS

ALCOA. Sistema de estudos meteorológicos e dispersão atmosférica – **Relatório Anual**, Poços de Caldas, 2018.

ASSAD, M. L .R. C. L. Recursos biológicos: ocorrência e viabilidade. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL AVANNAS, 1996, Brasília. **Anais ...** Planaltina: Embrapa-CPAC, 1996. p. 20-24.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO(ABAL). **Bauxita no Brasil: Mineração responsável e Competitividade**. São Paulo: ABAL, 2017.

ASSIS, M. A.; DE MATTOS, E. A. Vulnerabilidade da Vegetação de Campos de Altitude às Mudanças Climáticas. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 4, p. 24-36, 2016.

BARROS, D. A. de et al. Characterization of the bauxite mining of the Poços de Caldas alkaline massif and its socio-environmental impacts. REM: **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 65, n. 1, p. 127-133, mar. 2012.

BARROS, D. A. et al. Soil physical properties of high mountain fields under bauxite mining. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 5, p.419-426, Sept., 2013.

BARROS, Dalmo Arantes de. **Campos de altitude sob interferência na mineração de bauxita no planalto de Poços de Caldas, MG** . Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2014.

BENITES, V. M. et al. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob Campos de Altitude no parque estadual da Serra do Brigadeiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 661-674, set. 2001.

BIZUTI, D. T. G. **É possível reverter a degradação do solo provocada pela mineração de bauxita por meio da restauração florestal?**. 87f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP. Piracicaba, 2017.

BRADSHAW, A. Restoration of mined lands – using natural processes. **Ecological Engineering, Amsterdam**, v. 8, n. 4, p. 255-269, ago. 1997.

BRADY, C. J.; NOSKE, R. A. Succession in Bird and Plant Communities over a 24-Year Chronosequence of Mine Rehabilitation in the Australian Monsoon Tropics. **Restoration Ecology**, v. 18, n. 6, p. 855-864, nov. 2010.

BRANCALION, P.H.S. et al. Biodiversity persistence in highly human-modified tropical landscapes depends on ecological restoration. **Tropical Conservation Science**, n.6, p. 705-710, 2013.

BRASIL. Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. **Diário Oficial da União, Brasília**, DF, p. 5517, 10 abr. 1989.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. 007/08: nota técnica. Brasília, 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 423, de 12 de abril de 2010. Dispõe sobre parâmetros básicos para identificação e análise da vegetação primária e dos estágios sucessionais da vegetação secundária nos Campos de Altitude associados ou abrangidos pela Mata Atlântica. **Diário Oficial da União, Brasília, DF**, p. 55-57, 13 abr. 2010.

CAIAFA, A. N.; SILVA, A. F. da. Composição florística de um campo de altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro, Minas Gerais – Brasil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 56, n. 87, p. 163-173, 2005.

CASTRO, L. G.; COGO, N. P.; VOLK, L. B. S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva em solo com cessamento de cultivo, na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultural, e sua relação com a erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 339-352, 2006.

CAVALCANTE, J. C. et al. **Projeto Sapucaí: relatório final de geologia**. Brasília: DNPM/CPRM, 1979. 299 p.

CEDDIA, M. B. et al. Sistemas de colheita da cana de açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico Amarelo no Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 34, n. 8, p. 1467-1473, ago. 1999.

CIANCIARUSO, M.V.; SILVA, I.A. e BATALHA, M.A. 2010. Aboveground biomass of functional groups in the ground layer of savannas under different fire frequencies. **Australian Journal of Botany**, n.58, n.3, p.169-174, 210.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS (CODEMIG). Projeto Fronteiras de Minas, Belo Horizonte, 2015.

COMPANHIA GERAL DE MINAS (CGM). Plano de Manejo – **Reserva Particular do Patrimônio Natural do Retiro Branco**. Poços de Caldas, 177p, 2009.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Brasília, DF, 1986. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/conama/>. Acesso em julho, 2017. Acessado em 7 de julho 2017.

DA CUNHA, T. J.; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. Matéria orgânica do solo. In: NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. O. **Recurso solo: propriedades e usos**. São Carlos: Editora Cubo, 2015, 832 p.

DE BANO, L. F. Effects of fire on chaparral soil in Arizona and California and postfire management implications. In: SYMPOSIUM ON FIRE AND WATERSHED MANAGEMENT. 1989, Sacramento. **Proceedings...** Forest Service, 1989.p.55 – 62.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL(DNPM). **Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas**. Brasília, 2016.

DA SILVA, M. S. L.; DE OLIVEIRA NETO, M. B. Argissolos Vermelho-Amarelos. 2011. Disponível em:

<[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio\\_mata\\_sul\\_pernambucana/arvore/CONT000gt7eon7k02wx7ha087apz2axe8nfr.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CONT000gt7eon7k02wx7ha087apz2axe8nfr.html)>. Acesso em: 28 dez 2017.

DIAS, L. E.; ASSIS, I. R. Restauração ecológica em áreas degradadas pela mineração. Anais do IV **SIMPÓSIO DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA: DESAFIOS ATUAIS E FUTUROS**, 4., 2011, São Paulo, 2011. 324 p.

DO NASCIMENTO, P. C.et al. Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do Espírito Santo. R. **Bras. Ci. Solo**, n 34, p. 339-348, 2010.

DÖLL, J. C.; HACK, E. Gramineae: Stipa-Aristida. **Flora Brasiliensis**, v. 2, n. 3, p. 11-26, 1878.

DOS SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J.; ALMEIDA, E. DE P. C. Cambissolos Háplicos. 20--. Disponível em:<

[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONT000gn1sf65m02wx5ok0liq1mqzx3jrec.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn1sf65m02wx5ok0liq1mqzx3jrec.html)>. Acesso em: 28 dez 2017.

EELIES, A; GREZ, R.; RAMIREZ, C. La conductividad hidraulica en fase saturada como herramienta para el diagnostico de la estructura del suelo. **Agro Sur**, v. 25, n. 1, p. 51-56, 04 abr., 1997.

ELLERT, Reinholt. Contribuição à Geologia do Maciço Alcalino de Poços de Caldas. **Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras**, n. 18, p. 5-60, dez. 1959. ISSN 2526-3862. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/bffcluspgeologia/article/view/121851>>. Acesso em: 20 dez 2017.

EKINCI, H. Effect of forest fire on some physical, chemical and biological properties of soil in Çanakkale, Turkey. **International Journal of Agriculture & Biology, Faisalabad**, v. 8, n. 1, p. 102-106, 2006.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA.). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª ed, Brasília, 2001. 306 p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Latossolos Vermelhos. 20---. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONT000fzyjaywi02wx5ok0q43a0r9rz3uhk.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000fzyjaywi02wx5ok0q43a0r9rz3uhk.html)>. Acesso em: 28 dez 2017.

ESPÍNDOLA, M. B. D.; BECHARA, F. C.; BAZZO, M. S; REIS, A. Recuperação ambiental e contaminação biológica: aspectos ecológicos e legais. **Biotemas**, v. 18, n. 1, p. 27-38, 2011.

GATTO, A. et al. Efeito do método de preparo do solo, em área de reforma, nas suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*, **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 635-646, set./out. 2003.

GILLES, L.; COGO, N. P.; BISSANI, C. A.; BAGATINI, T.; PORTELA, J. C. Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho

implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1427-1440, 2009.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; DE OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S – Engineering and Science**. v. 5, n. 1, p. 83-90, 2015.

HUSTON, M. A General Hypothesis of Species Diversity. **The American Naturalist**, v. 113, p. 81-101, 1979.

INGRAM, L. J. et al. Microbial Respiration and Organic Carbon Indicate Nutrient Cycling Recovery in Reclaimed Soils. **Soil Science Society of America Journal, Madison**, v. 69, p. 1737-1745, 29 de Sept. 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM); **Panorama da Mineração em Minas Gerais/Instituto Brasileiro de Mineração**. Brasília, 2015.

KASSAMBRA, A., MUNDT, F. 2017. Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. Package "factoextra", versão 1.0.4. <https://cran.r-project.org/web/packages/factoextra/factoextra.pdf>. Acesso em 02 de mar 2017.

KARLEN, D. L. et al. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 61, p. 4-10, 1997.

KENNARD, D. K.; CHOLZ, H. L. Effects on high- and low-intensity fires on soil properties and plant growth in a Bolivian dry forest. **Plant and Soil, Crawley**, v. 234, n. 1, p. 119-129, 2001.

LEITE, L. F. C; ARAÚJO, A. S. F. **Ecologia Microbiana do Solo**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2007. 24p.

LONGHI-WAGNER, H. M. Flora da Serra do Cipó, Minas Gerais: Gramineae I – Chloridoideae. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo**. São Paulo, v. 12, p. 15-42, 1990.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I.; MELO, W. J. Caracterização física e química de áreas mineradas pela extração de cassiterita. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p. 101-107, 2005.

LOIOLA, P.P. et al. Functional diversity of herbaceous species under different fire frequencies in Brazilian savannas. **Flora**, n.205, n.10, p. 674-681, 2010..

MAGALHÃES, C. A. de S.; ALBERNAZ, W. M.; LIMA, J. M. de. Avaliação de dois métodos de mensuração da cobertura vegetal em áreas de pastagem. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria-RS. **Anais...** Santa Maria: SBCS, 2004.

MARTINELLI, G. Campos de Altitude: High mountain grasslands. Rio de Janeiro: **Index**, 1996. 160 p.

MARTINELLI, G. Mountain biodiversity in Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v. 30, n. 4, p. 587-597, 2007.

MENSAH, A. K. Role of revegetation in restoring fertility of degraded mined soils in Ghana: A review. **International Journal of Biodiversity and Conservation, Dordrecht**, v. 7, n. 2, p. 57-80, Feb. 2015.

MOCOCHINSKI, A. Y.; SCHEER, M. B.. Campos de altitude na serra do mar paranaense: aspectos florísticos. **Floresta**, v. 38, n. 4, 2008.

MROZ, G. et al. Effects of fire on nitrogen in forest floor horizons. Soil Science Society **America Journal, Madison**, v. 44, n. 2, p. 235-242, 1980.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Lavras: UFLA, 2006. 730 p.

MOREIRA, P. R. **Manejo do solo e recomposição da vegetação com vistas a recuperação de áreas degradadas pela extração de bauxita, Poços de Caldas, MG**. 2004.139f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) , UNESP, Rio Claro, 2017.

MORO, R. S.; CARMO, M. R. B. A vegetação campestre nos Campos Gerais. **Patrimônio Natural dos Campos Gerais do Paraná**. Ponta Grossa: UEPG, 2007. 93-98p.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. Shuttle Radar Topographic Mission – SRTM. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>. Acesso em: 20 set. 2017.

NEES, C. G.; MARTIUS, K. F. O. von. **Agrostologia Brasiliensis: seu Descriptio graminum in imperio Brasiliensi huc usque detectorum**. [s.l.:s.m.], 1829.

PEJON, O. J.; RODRIGUES, V. G. S. Fase sólida: composição mineral do solo. In: NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. O. **Recurso solo: propriedades e usos**. São Carlos: Editora Cubo, 2015, 832 p.

POÇOS DE CALDAS. Prefeitura Municipal de Poços de Caldas. Plano Diretor Municipal, 1992. Disponível em: <http://www.pocosdecaldas.mg.gov.br/> (acesso em 15/11/2017). Acesso em 27 de abril 2018.

POMIANOSKI, D. J. W.; DEDECEK, R. A.; VILCAHUAMAN, L. J. M. Efeito do fogo nas características químicas e biológicas do solo no sistema agroflorestal da Bracatinga. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.52, p.93-118, 2006.

POTES, M. L. et al. Matéria orgânica em neossolo de altitude: influência do manejo da pastagem na sua composição e teor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. , p. 23-32, jan./fev. 2010.

REDIN et al. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, v.21,n.2,p.381-392, abr-jun.,2011.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 33, n. 1, p. 49-55, jan./fev. 2003.

REZENDE, LINA A. L. de. **Restauração ecológica de Campos rupestres-ferruginosos**. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa , Viçosa, MG 2013.

RIBEIRO, K. T.; MEDINA, B. M. O. 2002. Estrutura, dinâmica e biogeografia das ilhas de vegetação sobre rocha do planalto do Itatiaia – RJ. **Boletim do Parque Nacional do Itatiaia – RJ**, Rio de Janeiro, n. 10. 83 p., 2002.

SÁ JÚNIOR, A. DE. **Aplicação da classificação de Koppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado) , Lavras , 2009, 101p.

SAFFORD, H.D. Brazilian Páramos I: An introduction to the physical environment and vegetation of the campos de altitude. **Journal of Biogeography**, Amsterdam, v. 26, n. 4, p. 693-712, 1999.

SAFFORD, H. D. Brazilian Páramos II. Macro- and Mesoclimate of Campos de Altitude and Affinities with High Mountain Climates of the Tropical Andes and Costa Rica. **Journal of Biogeography**, Amsterdam, v. 26, n. 4, p. 713-737, 1999.

SER-INTERNATIONAL. Princípios da SER International sobre a restauração ecológica., Tucson, 2004. Disponível em: < <http://www.ser.org/docs/default-document-library/ser-primer-portuguese.pdf> >. Acesso em 27 de abril 2018.

SIMAS, F. N. B., SCHAEFER, C. E. G. R., FERNANDES FILHO, E. I., CHAGAS, A. C., BRANDÃO, P. C. Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on crystalline rocks of Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil. **Geoderma**, v. 125, n. 3, p. 187-201, 2005.

SOARES, R. V. Effects of pine plantation prescribed burning on soil chemical properties in the savanna region of Minas Gerais state, Brasil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOREST FIRE RESEARCH, 1990, Coimbra. **Proceedings...** Coimbra: Universidade de Coimbra, 1990, p. 06-09.

SIQUEIRA, J. O.; et al. In: SANTOS, G. A.; et al. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, 2008. p. 495-524.

STOCKING, M. A. Assessing vegetative cover and management effects. In: LAL, R. (Ed.). **Soil erosion research methods. Delray Beach: Soil and Water Conservation Society**, 1994. 340 p.

STUMPF, L.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. S. Soil aggregation and root growth of perennial grasses in a constructed clay minesoil. **Soil and Tillage Research**, v. 161, p. 71-78, 2016.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ V. V. H. et al. **Tópicos em ciência do solo, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência dos Solos**, v. 2, n. 1, p. 195-276, 2002.

TRAMUJAS, A. P. **A vegetação dos campos de altitude na região do Ibitiraquire – Serra do Mar –Municípios de Antonina, Morretes e Campina Grande do Sul, Paraná.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

TURCO, R. F.; KENNEDY, A. C.; JAWSON, M. D. Microbial indicators of soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (Eds.). **Defining Soil Quality for a Sustainable Environment.** Madison: SSSA, 1994. p.73-90.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.

WILLIAMS, D. **Memorial da Companhia Geral de Minas: seus 65 anos (1935 - 2000) e apontamentos da mineração no planalto de Poços de Caldas.** Poços de Caldas: Alcoa, 2001. 151 p.

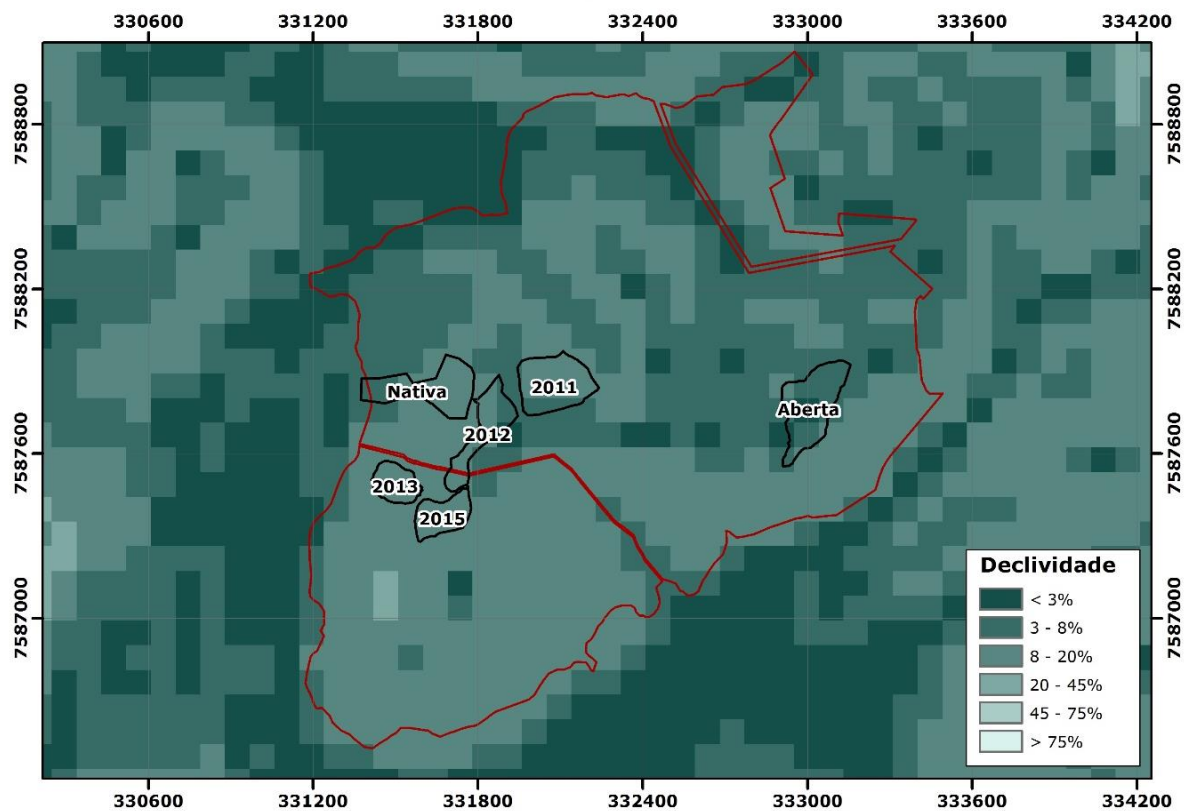
WORLD RESOURCES INSTITUTE. Atlas of Forest and Landscape Restoration Opportunities. 2014. Disponível em: <<http://www.wri.org/resources/maps/atlas-forest-and-landscape-restoration-opportunities>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

VALCARCEL, A; SILVA, Z. S. A eficiência conservacionista de medidas de recuperação de áreas degradadas: proposta metodológica. **Floresta**, Curitiba, v. 27, n. 1 2, 2004.

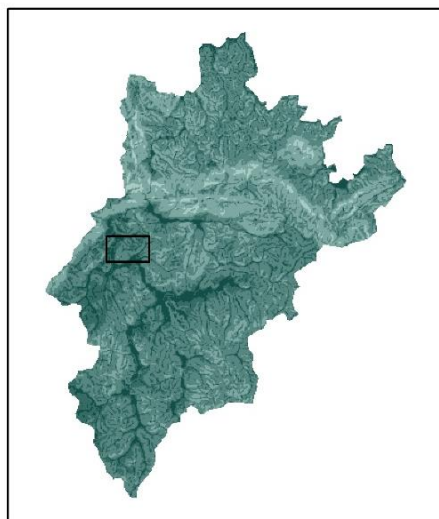
VIEIRA, Ana Carolina. **Efeito da queimada sobre atributos físico, químicos e microbiológicos do solo em área de pastagem, no sul de Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2016.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 763-774, 2004.

## APÊNDICE I – MAPA DE DECLIVIDADE DA ÁREA DE ESTUDO.



0 225 450 900 1.350  
Metros



Concessões  
minerárias  
 Áreas de estudo

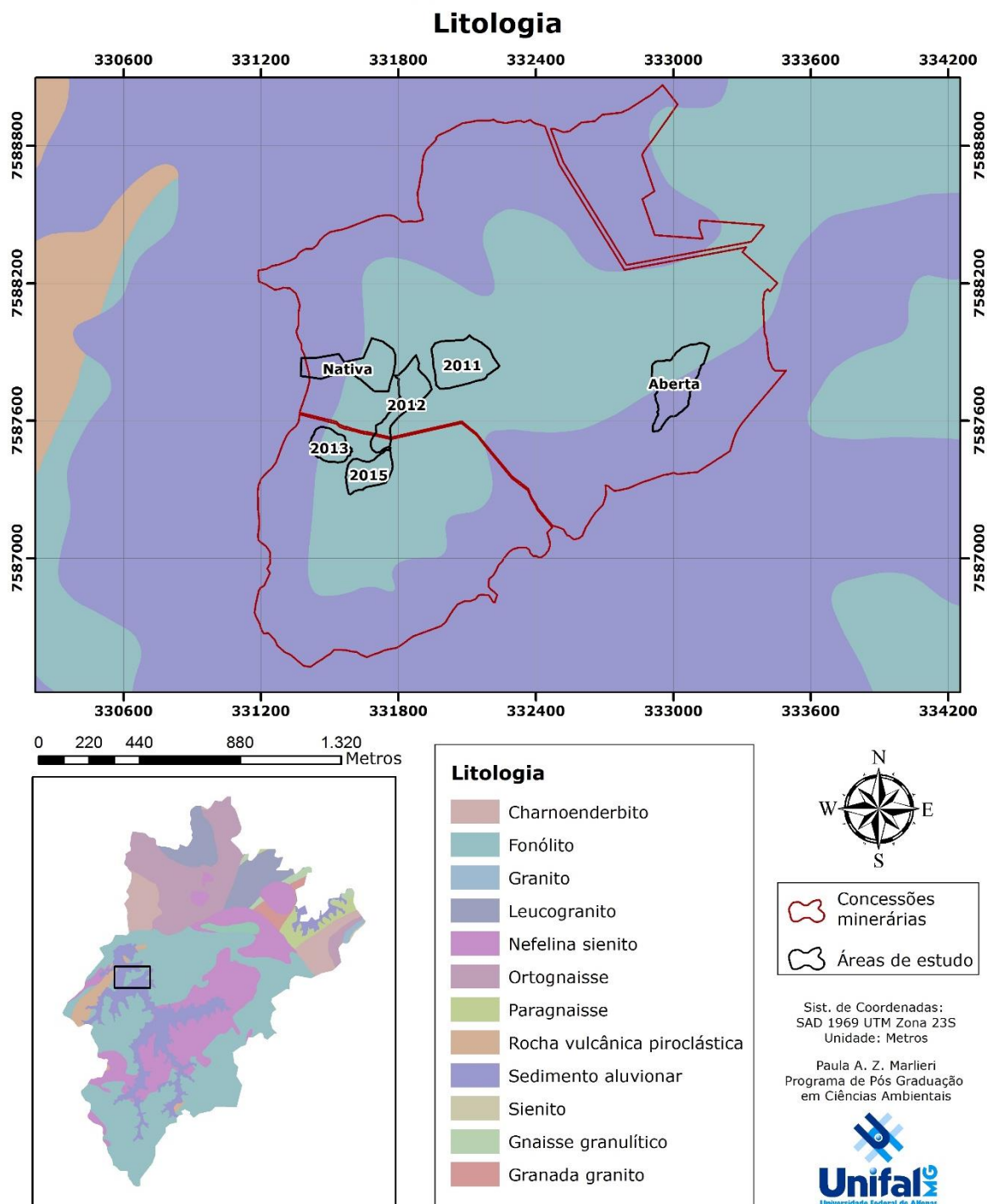
Declividade (%)	Relevo	%
0 - 3	Plano	7%
3 - 8	Suave-ondulado	19%
8 - 20	Ondulado	50%
20 - 45	Forte-ondulado	23%
45 - 75	Montanhoso	2%
75 - 100	Forte-Montanhoso	0%

Sist. de Coordenadas:  
SAD 1969 UTM Zona 23S  
Unidade: Metros  
Fonte: SRTM, Companhia Geral de Minas

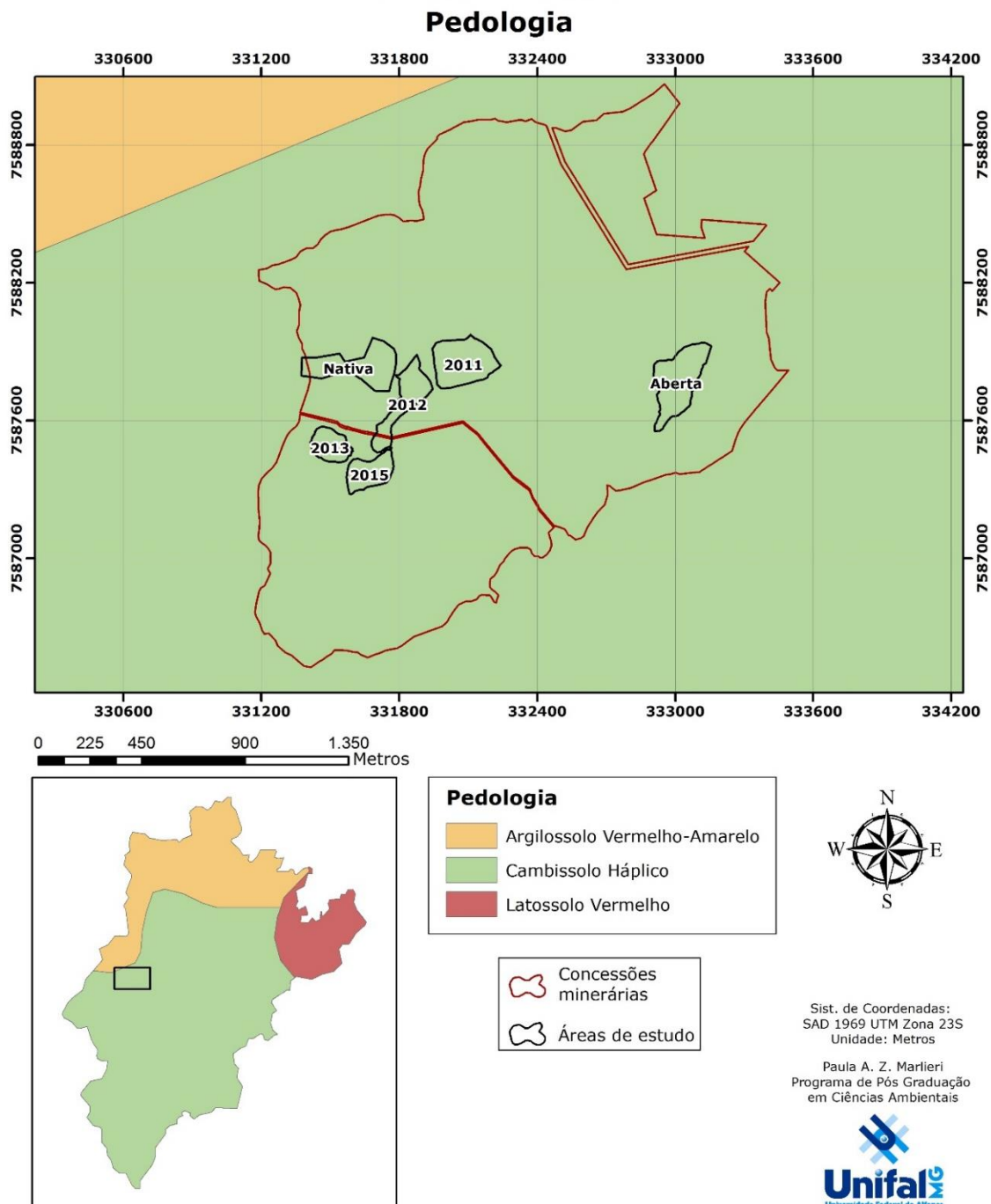
Paula A. Z. Marlieri  
Programa de Pós Graduação  
em Ciências Ambientais



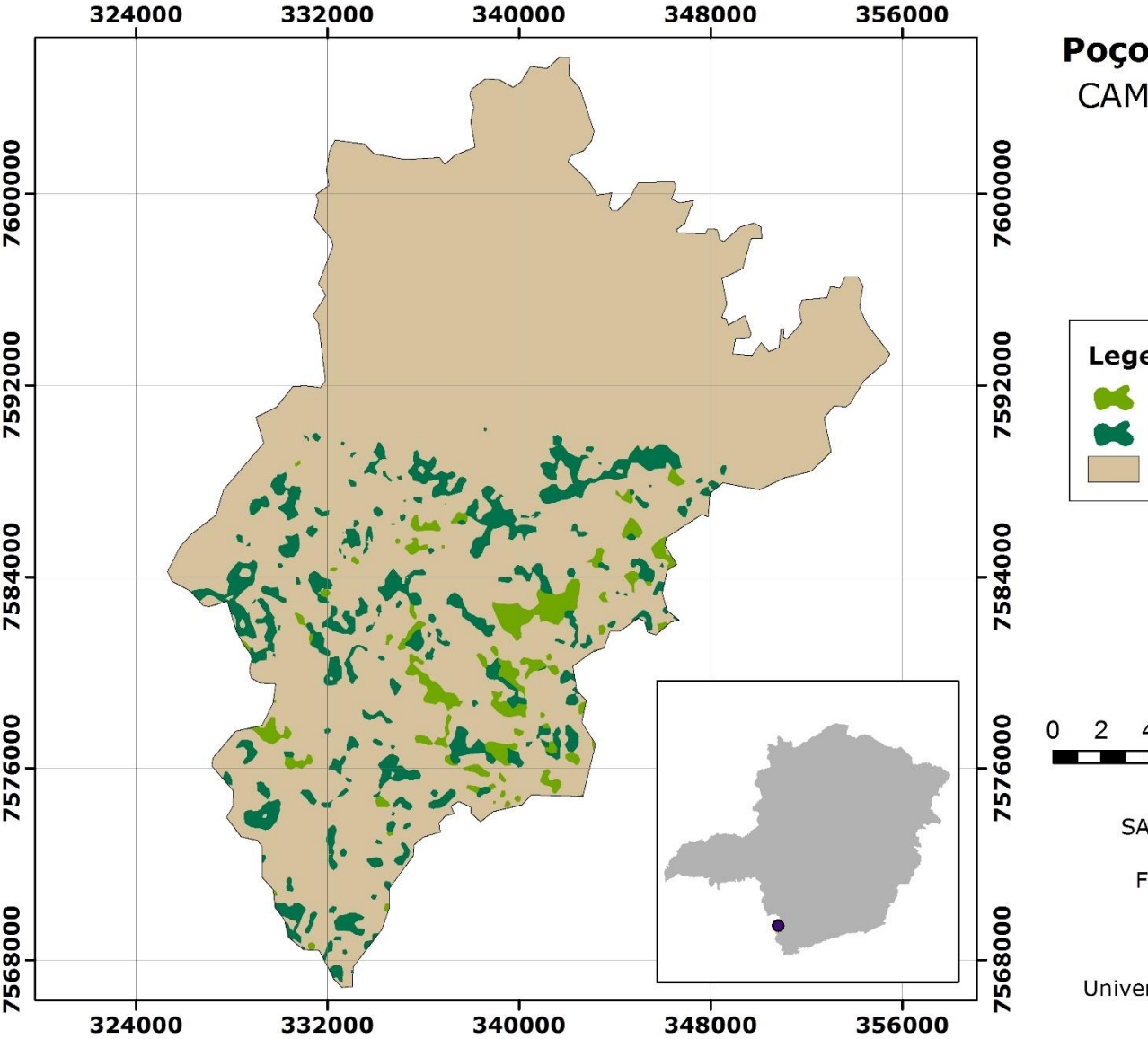
## APÊNDICE II – MAPA LITOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO.



## APÊNDICE III – MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DO SOLO DA ÁREA DE ESTUDO – PEDOLOGIA.



# APÊNDICE IV – MAPA DE VEGETAÇÃO DE POÇOS DE CALDAS.



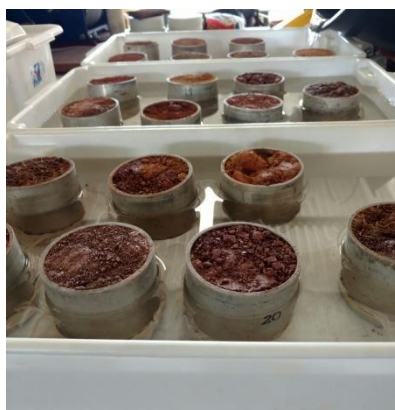
## APÊNDICE V – FOTOS DA COLETA E ANÁLISE FÍSICA DO SOLO.



Ponto de coleta e trado tipo Uhland



Permeômetro de carga constante



Saturação das amostras de solo.

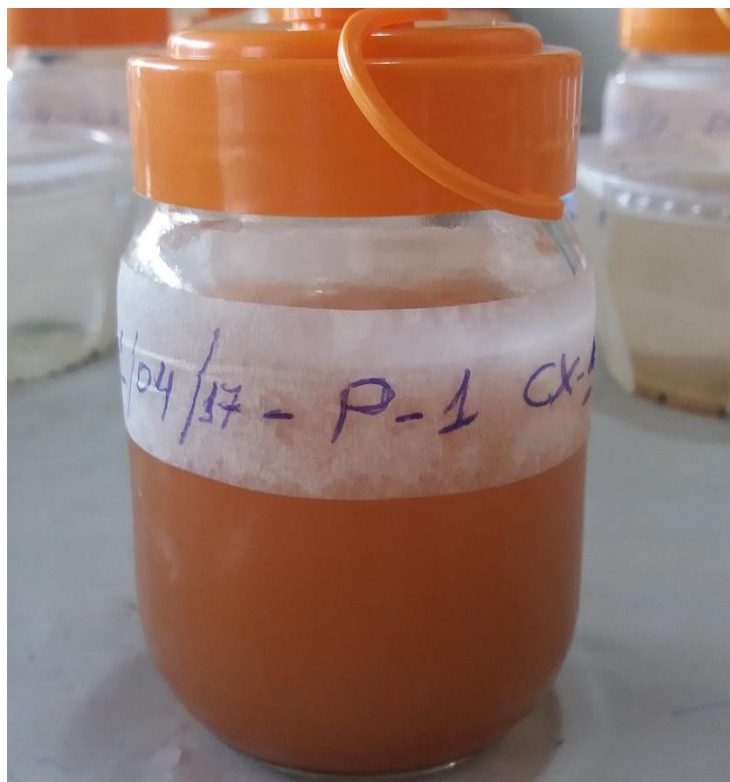
## APÊNDICE VI – FOTOS DAS PARCELAS E COLETA DE PERDA DE SOLO



Modela da parcela utilizado para coleta de solo em todas as áreas.



Parcela instalada em área restaurada.



Frasco com coleta da água de chuva.



Frascos com coletas de água da chuva prontos para secagem em estufa.